

**CARTOGRAFIA DE OCUPAÇÃO DO SOLO DERIVADA DE IMAGENS DE
SATÉLITE. CASO DE ESTUDO: MUNICÍPIO DE HUMPATA, ANGOLA.**

Hervé Pedro Vela

**Dissertação de Mestrado em Ordenamento do Território e Sistemas de
Informação Geográfica**

Março, 2015

Dissertação apresentada para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Ordenamento do Território e Sistemas de Informação Geográfica, realizada sob a orientação científica do Professor Doutor José António Tenedório e da Professora Doutora Rossana Estanqueiro

Ao meu querido e amado Pai Kengue Vela (in memória), que o Senhor Deus o tenha. A minha doce e amada Mãe Mampunina Ariette, que a graça de Deus continue prevalecendo sobre ti para todo o sempre.

AGRADECIMENTOS

O processo evolutivo de um trabalho desde a sua concepção até a última linha tem uma vida turbulenta. O entusiasmo com o qual se acompanha a primeira linha vai sendo posto à prova à medida que o trabalho decorre. É sem dúvida uma prova de fogo a todo o esplendor, onde o Norte nunca pode deixar de ser vislumbrado, mesmo que muitas vezes tenhamos que caminhar de olhos fechados na incerteza do caminho. Contudo, esta prova nunca foi uma caminhada solitária. Foi sempre acompanhada por pessoas que souberam sempre fazer-se presentes, com a sua palavra, o seu conhecimento e conselhos, a quem quero prestar a minha homenagem e dirigir o meu agradecimento sincero.

Quero deste modo, em primeiro lugar agradecer a Deus Pai todo-poderoso, pela força e bênçãos que tem derramando na minha vida. Em Ti Senhor encontrei forças para manter-me firme e levantar todas aquelas vezes que fui caindo e me desmotivando durante esta caminhada.

Quero deixar aqui o meu profundo agradecimento ao Professor Doutor José António Tenedório e à Professora Doutora Rossana Estanqueiro por terem aceite a orientação desta dissertação. Pelo apoio ao longo do desenvolvimento e, acima de tudo, pelo estímulo intelectual das nossas conversas, a sempre atenta observação e crítica, e pela motivação constante.

Um agradecimento especial ao meu amigo e Professor Mestre António Valter Chissingui, pelo apoio, exemplo e constante motivação. Pela sua incansável paciência e disponibilidade sempre que solicitasse. Palavras faltam para agradecer, por tudo, o meu muito obrigado.

Agradeço aos meus pais Kengue Vela (de feliz memória) e Mampunina Ariette e a minha madrinha Julieta Nsambo pela educação, valores e orientações, sem as quais seria com certeza humanamente mais pobre. Os meus irmãos Zele, Iclásia, Hoble, Rabi, Magui e todos familiares que sempre estiveram por perto, dando-me força em continuar firme nos objectivos traçados.

Os meus companheiros nesta caminhada Isabel Carla Rasga, Paula Páscoa e Pedro Duarte que juntos trilhamos nesta aventura, suportando e lutando incessantemente. Foram muitas as quedas que tivemos, mas com o apoio mútuo e pela Graça de Deus conseguimos vencer as batalhas. Só nós sabemos o que tivemos de suportar, mas com o sentimento de dever a cumprir. Que o Senhor continue derramando bênçãos nas vossas vidas.

O meu profundo agradecimento a Direcção da Escola Secundária do II Ciclo da Arimba, na pessoa da Directora Doutora Adelaide Evódia de Assunção, na qual palavras não existem para a descrever, ao Doutor Sebastião Manuel e Ilídio dos Santos, Tio Belo, por tudo muito obrigado. Aos meus colegas Caley, Graça, Manuel, Aida, Gama, Joaquim, e todos os colegas de Escola muito obrigado por tudo.

Aos meus amigos Dany, Loy, Lino, Lito, Walter, Narcy, Alzer “Mano Zé”, Santos, Evanice, Henriqueta, Alcino, Júlio, Vambili, René, Didi, Omar e todos que directa ou indirectamente prestaram do seu apoio e continuam a dar e que tanto me valem. Aos Doutores Augusto Rasga, Carlos Pinto e José da Silva “Tozé” pela constante motivação e conselhos. A Marisa Adriano agradeço pela sua presença e motivação.

Cartografia de Ocupação do Solo derivada de Imagens de Satélite. Caso de estudo: Município da Humpata, Angola

Hervé Pedro Vela

RESUMO

Cartografia de Ocupação do Solo derivada de Imagens de Satélite. Caso de estudo: Município de Humpata, Angola.

A cartografia de uso e ocupação do solo é uma ferramenta de suporte fundamental à prática municipal e de inquestionável valor na análise de um território. As constantes alterações verificadas no uso e ocupação do solo dos territórios tornam necessária a existência de informação precisa e actualizada, para uma gestão eficiente.

A inexistência de cartografia actualizada em Angola sobre o uso e a ocupação do solo, e particularmente na província de Huíla, impulsionou a aplicação de uma metodologia com o objectivo de desenvolver cartografia de uso e ocupação do solo com recurso a imagens de satélite de alta resolução e a processamento digital de imagem. A disponibilidade de dados provenientes de sensores remotos associada a técnicas de processamento digital abriu uma nova janela no uso e exploração deste tipo de dados remotos, tornando possível estudar métodos de classificação computacionalmente intensivos e analisar a riqueza espacial e a variabilidade espectral destas imagens.

A metodologia proposta tem como base a classificação assistida (supervisionada) de imagens. Recorrendo-se a imagem de alta resolução espacial proveniente do satélite Landsat 8 para os testes realizados no trabalho, visa contribuir para a produção de informação necessária às fases de monitorização, planeamento e gestão do território no município de Humpata, Angola. O resultado deste desenvolvimento foi a criação de uma Carta de Ocupação do Solo para a região de Humpata, cuja abordagem aplicacional realça os benefícios da utilização da Detecção Remota na caracterização da ocupação do solo atendendo ao grau de heterogeneidade e fragmentação do coberto vegetal do município e respectiva distribuição espacial, bem como as vantagens da aquisição e aplicação de dados digitais no apoio às várias acções sobre o território em matéria de ordenamento e gestão territorial.

PALAVRAS-CHAVE: Cartografia, Classificadores, Detecção Remota, Gestão do Território, Imagem Satélite, Landsat, Ocupação do Solo.

ABSTRACT

Land Cover Mapping derived from Satellite Images. Case Study: City of Humpata, Angola.

The mapping of use and occupation of land is a key support tool for municipal practice and unquestionable value in the analysis of a territory. The constant changes in the land use and occupation of the territories make it necessary to have accurate and updated, for efficient management.

The lack of updated maps in Angola on the use and occupation of land, and particularly in the province of Huila, boosted the application of a methodology in order to develop the use of mapping and land cover using high-resolution satellite images and digital image processing. The availability data from remote sensors associated with digital processing techniques opened a new window on the use and operation of this type of remote data, making it possible to study computationally intensive classification methods and analyze the wealth and the spectral variability of these images. The proposed methodology is based on the assisted classification (supervised) images. Using the spatial high resolution image from the Landsat 8 satellite for tests carried out at work, contributing to the production of information needed to phase monitoring, planning and land management in the municipality of Humpata, Angola. The result of this development was the creation of a Land Use Charter for Humpata region, whose applicational approach highlights the benefits of using remote sensing to characterize the land use given the degree of heterogeneity and fragmentation of vegetation and the municipality their spatial distribution and the advantages of the acquisition and application of digital data in support of various actions on the territory in relation to planning and land management.

KEYWORDS: Cartography, Classifiers, Remote Sensing, Land Management, Satellite Image, Landsat, Land cover.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS.....	iii
RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
LISTA DE ABREVIATURAS	x
INTRODUÇÃO.....	1
CAPÍTULO I. CONTEXTO GEOGRÁFICO DE HUMPATA	3
I.1. Situação Geográfica.....	3
I.2. Clima.....	4
I.3. Geomorfologia	4
I.4. Hidrografia.....	5
I.5. Vegetação.....	6
I.6. Síntese da estrutura territorial de Humpata.....	11
CAPÍTULO II. CARTOGRAFIA DE OCUPAÇÃO DO SOLO	16
II.1. Problema, objectivos e procedimentos metodológicos	16
II.2. Cartografia de Ocupação do Solo.....	17
II.2.1. Uso e Ocupação do Solo.....	18
II.2.2. Detecção Remota, funções e aplicações.....	19
II.2.3. Enquadramento: detecção remota e caracterização da ocupação do solo ..	20
II.3. Métodos de Extracção de Informação	22
II.3.1. Nomenclaturas	22
II.3.1.1. Corine Land Cover	23
II.3.1.2. FAO Land Cover Classification System	24
CAPÍTULO III. METODOLOGIA.....	27
III.1. Dados.....	27
III.1.1. Abordagem proposta e sua justificação.....	27
III.1.2. Programa Landsat	29
III.1.3. Landsat 8	32
III.1.4. Aquisição das imagens e caracterização	34
III.2. Processamento Digital de Imagem	35
III.2.1. Pré-Processamento	35
III.2.1.1. Reprojecção das Imagens.....	36
III.2.1.2. Correção Atmosférica	36
III.2.2. Fluxograma e Metodologia	38
III.2.3. Algoritmo de Classificação	52

III.2.3.1. Classificação por regiões	54
III.2.4. Treinamento	56
III.2.5. Validação	57
IV.1. Descrição dos resultados	60
CONCLUSÃO	66
BIBLIOGRAFIA	69
GLOSSÁRIO	74
ÍNDICE DE FIGURAS	75
ÍNDICE DE QUADROS	76
ANEXOS.....	77

LISTA DE ABREVIATURAS

µm – Micrómetro

ATMOSC – Atmospheric Correction of Remotely Senses Images

AVI – Análise Visual de Imagem

CORINE - Co-ordination of Information on the Environment.

DOS – Dark Object Subtration

ERTS – Earth Resource Techonology Satellite

ETM + – Enhanced Thematic Mapper Plus

FAO – Food and Alimentation Organization of the United Nations

GLCN – Global Land Cover Network

IGCA – Instituto Geográfico e Cadastral de Angola

INE – Instituto Nacional de Estatística

LCCS – Land Cover Classification System

LDCM – Land Data Continuity Mission

MSS – Multispectral System

NASA – National Aerounautics and Space Administration.

OLI – Operational Land Imager

PDI – Processamento Digital de Imagem

SIG – Sistema de Informação Geográfica

TIRS – Thermal Infrared Sensor

TM – Thematic Mapper

UNEP – United Nations Environment Programme

USGS – United States Geological Survey

INTRODUÇÃO

A produção de cartografia de ocupação do solo é considerada de grande importância estratégica em diversos domínios, nomeadamente em Ordenamento do Território. A sua aplicação é fundamental na elaboração e monitorização dos instrumentos de gestão territorial, a diversas escalas, na modelação de fenómenos ambientais (Friedl *et al.*, 2002; Justice *et al.*, 1998), no estudo e análise espacial de sistemas biofísicos (Stehman e Czaplewski, 1998; Justice *et al.*, 1998; Homer *et al.*, 2007) ou humanos, na monitorização ambiental (Homer *et al.*, 2007), entre outros domínios.

No contexto desta dissertação pretende-se aplicar uma metodologia para elaboração de cartografia de ocupação do solo com recurso a imagens de satélite e a processamento digital de imagem. Essa metodologia será orientada para a produção de informação geográfica pertinente para as fases de caracterização, análise e monitorização dos planos de ordenamento e de gestão do território do município de Humpata, em Angola.

A elaboração da carta de ocupação do solo proposta neste trabalho será indispensável para o município justificada como ferramenta de suporte às alterações verificadas na paisagem fruto das actividades desenvolvidas pela população. Sente-se, assim, necessidade de uma ferramenta que evidencie a ocupação do solo na região.

Atendendo à realidade do município, esta carta apoiará a prática municipal com aplicação intensiva dos sistemas de informação geográfica nas várias acções sobre o território, seja, planeamento, ordenamento do território ou gestão urbanística.

Deste modo, este trabalho encontra-se estruturado em **quatro** Capítulos: o **Capítulo I Contextualização da Área de Estudo**, dedicado a caracterização do município de Humpata desde a localização e situação geográfica, clima, geomorfologia, distribuição da rede hidrográfica à vegetação. Este capítulo termina com uma síntese da estrutura territorial do município. No **Capítulo II Cartografia de Ocupação do Solo**, constituindo o capítulo chave, permite familiarizar-se com a temática. Nele são tratados os principais aspectos relativos a cartografia de ocupação do solo fazendo-se um enquadramento. Apresenta-se a distinção entre Uso e Ocupação do solo, os principais sistemas de nomenclaturas usados em cartografia de ocupação do solo. O **Capítulo III Metodologia**, constitui a componente aplicacional deste trabalho, integrando a

descrição dos dados de referência e dos procedimentos metodológicos para obtenção dos resultados. Parte-se, assim, da descrição dos dados utilizados para a metodologia incidindo sobre as etapas de processamento digital de imagem que resultam nos *outputs*, apresentados e analisados no quarto capítulo. No **quarto e último Capítulo**, discorre-se em torno dos resultados obtidos no capítulo anterior e respectiva discussão.

Por fim, o último ponto integra as considerações finais sob a forma de síntese e reflexão crítica.

CAPÍTULO I. CONTEXTO GEOGRÁFICO DE HUMPATA

O município de Humpata tem uma população estimada em cerca de 82758 habitantes (INE, 2014). O aumento da produção e da produtividade agrícola, a existência e o desenvolvimento de vários sectores de actividade com a consequente criação de emprego têm contribuído de forma geral para a melhoria das condições de vida da população nas zonas rurais.¹

Institucionalmente o município de Humpata não possui comunas, no entanto, destaca-se a importância que as regiões de Palanca, Caholo, Bata-Bata e Neves (denominadas “sectores”) apresentam para o município, para além da Sede Municipal².

I.1. Situação Geográfica

Humpata é um município da Província de Huíla, localizado no sudoeste de Angola. É delimitado pelos meridianos 13° 45’ e 12° 50’ de longitude este e pelos paralelos 16° 15’ e 14° 30’ de latitude sul.

Está limitado a Norte pelo município de Lubango, a Este pelo município de Chibia, a Sul pelo município de Virei (Província de Namibe), e a Oeste pelo município de Bibala (Província de Namibe). Administrativamente é composto apenas pela comuna Sede numa superfície total de 1239km² (figura 1).

¹ Estatisticamente não há total concordância nos diferentes documentos relativamente ao total de população residente no município. O Perfil Municipal de Humpata (2010) apresenta que a população do município é de cerca de 96018. De acordo com o Decreto Presidencial nº 2/12 de 9 de Janeiro que aprova o Plano de Desenvolvimento a médio prazo da Província da Huíla (2009 - 2013) refere que a população do município é estimada em cerca de 50.098 (Decreto Presidencial nº 2/12 de 9 de Janeiro). De acordo com os resultados preliminares do Recenseamento Geral da População e Habitação realizado recentemente no território angolano (2014) segundo os seus dados provisórios divulgados nos apresenta no município uma população estimada em cerca de 82758. Os dados apresentados pelo Instituto Nacional de Estatística (INE) são tidos como os resultados oficiais (não obstante serem dados preliminares).

²A região da Humpata administrativamente apenas apresenta uma comuna (Sede), as demais localidades são atribuídas a denominação de “sectores”.

I.2. Clima

O município de Humpata enquadra-se na região correspondente ao sudoeste de Angola na qual predominam três grandes tipos climáticos de acordo com a classificação climática de Köppen, nomeadamente: o clima tropical de altitude com estação seca (Cw), o clima desértico (BW) e o clima semiárido de estepe (BS) (Feio, 1981:18).

O clima da região é influenciado por duas causas de natureza físico-climática gerais, uma planetária (latitudinal) e outra local (a distância ao mar): a primeira provoca diminuição das chuvas conforme nos afastamos do equador, isto é, nos aproximamos do anticiclone tropical; e, a segunda, provoca elevada humidade atmosférica e elevada ausência de chuvas (junto ao mar), características essas atenuando-se para o interior.

As temperaturas médias anuais aumentam com o afastamento do mar até a base da escarpa (Leba) fazendo com que na Humpata atinja valores de temperatura média anual de 17, 2° C e de 17, 8° C (no Tchivinguiro, ambos no planalto superior). A influência do relevo traduz-se em quantitativos de precipitação anual elevados.

Na região registam-se duas estações durante o ano: Verão, quentes e húmidos (Setembro a Abril), com elevadas precipitações a partir de Dezembro a Março; Inverno, frios e secos (Maio a Agosto), com temperaturas mais baixas nos meses de Junho e Julho. A temperatura média anual é de 18° C (Feio, 1981:18-20).

I.3. Geomorfologia

O planalto da Humpata é um dos principais acidentes de relevo do sistema orográfico designado por *Serra da Chela* ou ainda denominado *Formação Chela* (figura 2).

Segundo Feio (1981:31) o planalto da Humpata “é um relevo estrutural que representa o nível da aplanção mais alta do sudoeste de Angola”. Do ponto de vista geomorfológico integra duas aplanções distintas designadas por Humpata, a do sul (parte mais baixa), e por Bimbi, a do norte (parte mais alta). As duas aplanções são separadas pelo limite irregular que liga o vale do rio Leba à “Boca da Humpata” correspondente a uma flexura de camadas quartzíticas.

É constituído por rochas sedimentares e vulcanoclásticas pertencentes à formação Chela. As áreas de altitude horizontal e sub-horizontal são limitadas por escarpas em que as alturas são bastante desiguais. Observam-se grandes variações do relevo a nível local. As assimetrias de desníveis reflectem fundamentalmente as diferenças de espessura das formações geológicas.

Feio (1981:32) refere ainda que “a tectónica que actuou a região é essencialmente constituída por vários tipos de falhas especificamente na região da Leba, assinalando a existência de dois sistemas de falhas que são responsáveis pela compartimentação do corpo sedimentar que constitui o planalto individualizando blocos soerguidos e abatidos”.

Destacam-se ainda na região tipo de solos como ferralíticos, litossolos e terrenos rochosos.

I.4. Hidrografia

A hidrografia é uma das mais importantes potencialidades do município (figura 3), quer ao nível da rede subterrânea quer de linhas de água à superfície com um caudal constante (destacando-se aqui o rio Neves – Tchikipumpunhime). A sua rede hidrográfica é bastante densa e com grande abundância de nascentes.

Muitas vezes a rede hidrográfica do município é orientada por linhas de fractura, traduzindo-se pela direcção mais ou menos rígida dos cursos de água. Estes cursos em alguns casos apresentam uma configuração dendrítica, com sistemas de afluentes e subafluentes complexos, que desenham linhas em circunvoluções caprichosas.

As superfícies são cortadas por certa densidade de linhas de água, que definem vales largos e pouco profundos, as características “mulolas” do sul de Angola, a maioria das quais transportam água na época chuvosa, quando não são apenas de regime torrencial (Diniz, 2006:427).

No conjunto as “mulolas” são afluentes do Caculovar, destacando-se um verdadeiro rio, ainda mais extenso. Trata-se do rio Tchikipumpunhime, que nos sectores a montante do seu curso é designado primeiro por Neves e depois Nene. O

Tchipumpunhime é um dos principais afluentes que nasce no Planalto da Humpata (a sua bacia central encontra-se encravada na cordilheira marginal).

O rio nasce no Planalto do Bimbe e corre a princípio num vale acidentado e de forte inclinação, que vai diminuindo gradualmente, até a uns 13 km da nascente. Pouco antes da Humpata, tem uma bacia aluvial, de cerca de 2 km², no extremo da qual foi estabelecida a barragem das Neves (anteriormente denominada Capitão Sousa Dias). A partir daqui o Neves volta a correr num leito de grande inclinação e poucos quilómetros depois atinge uma nova bacia aluvial, muito mais ampla que a primeira, por onde se alarga. A seguir o rio passa a chamar-se Nene e a inclinação do seu leito volta a acentuar-se, apesar de se notarem, intercalados neste sector, alguns trechos menos declivosos, com deposição de aluviões.

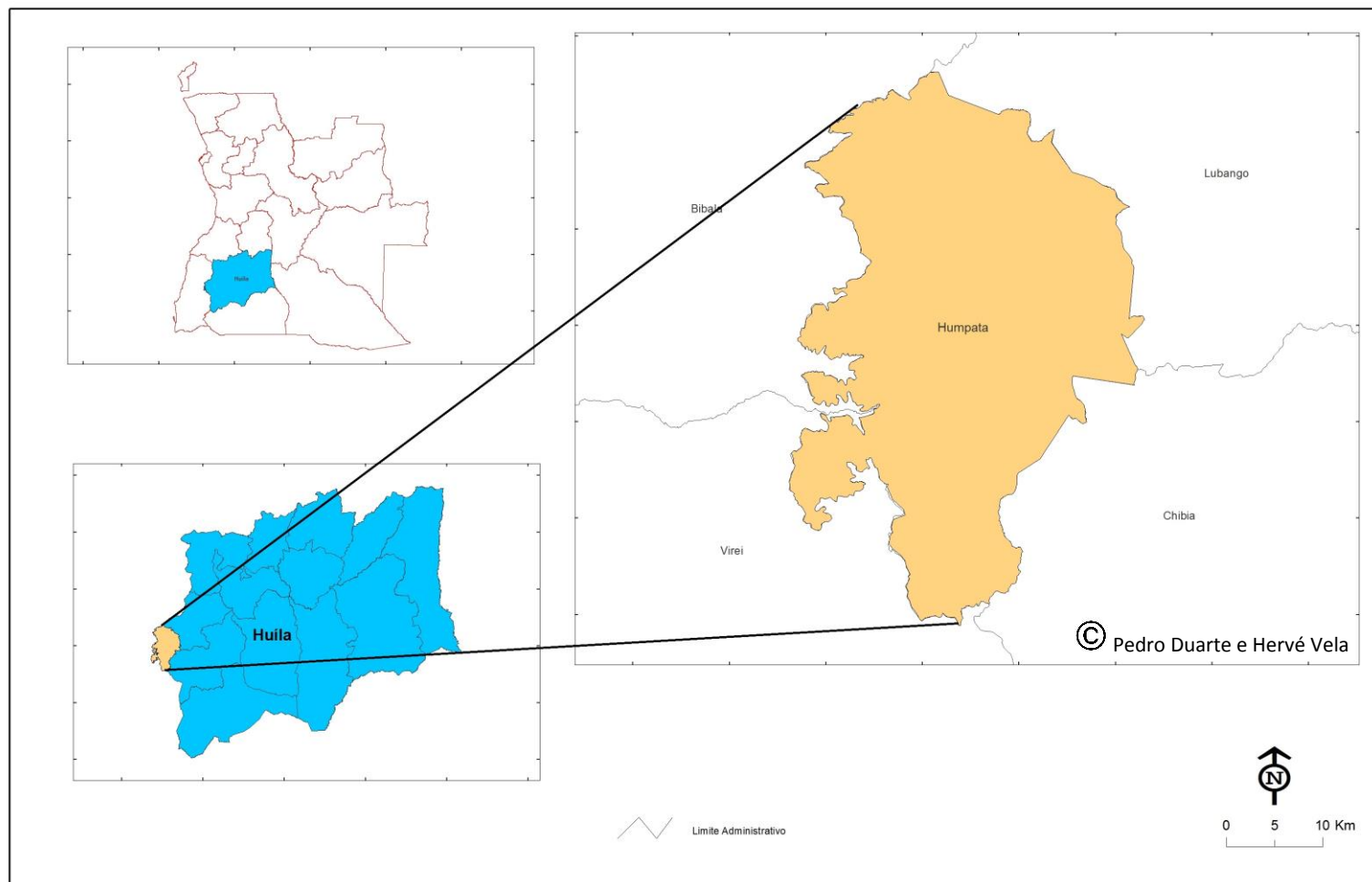
Como referido acima, a Barragem das Neves, destaca-se como uma importante infraestrutura hídrica com enorme capacidade de armazenamento de água que gera consideráveis benefícios económicos ao Município.

I.5. Vegetação

As formações vegetais na área de estudo acompanham necessariamente as variações verificadas nas precipitações facto que contribui para a diversidade e heterogeneidade do coberto vegetal (figura 4). De acordo com a carta Fitogeográfica de Angola (Barbosa, 1970) e a Carta dos Solos, (1º Distrito da Huíla, 1959), na área predomina o «*Miombo*» representando a chamada *Mata de Panda* que corresponde as regiões mais húmidas (Gossweiler, citado por Feio, 1981). Esta formação ocupa grande parte de Angola, é aberta e de folha caduca e subcaduca. Dominam géneros como a *Berlinia*, *Brachystegia* e *Combretum*; Prados de altitude ou «*Anharas do Alto*», (estepe que ocupa o planalto do Bimbe e parte do planalto da Humpata), destacando-se espécies como *Clematopis scabiosifolia*, *Artemisia afra* e *Stoebe cinera*; *Bosque seco, decíduo de savana e estepe* (Feio, 1981:26).

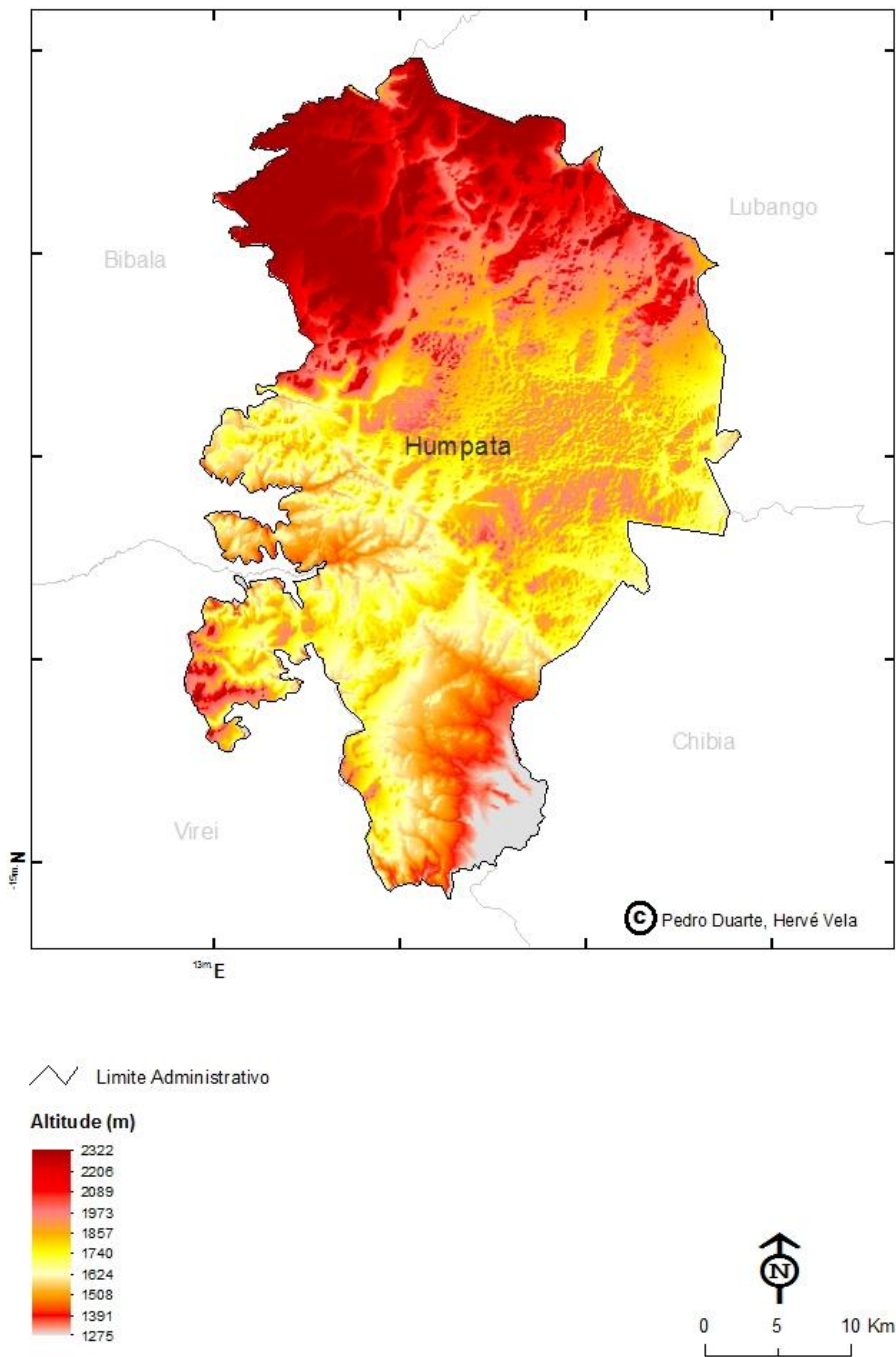
O índice de pluviosidade na região, devido a forte influência climática é bastante elevado e consequentemente sustenta o solo, dali encontrarem-se numerosas áreas de coberto vegetal na região (Feio, 1981:25).

Figura 1: Situação Geográfica do Município.



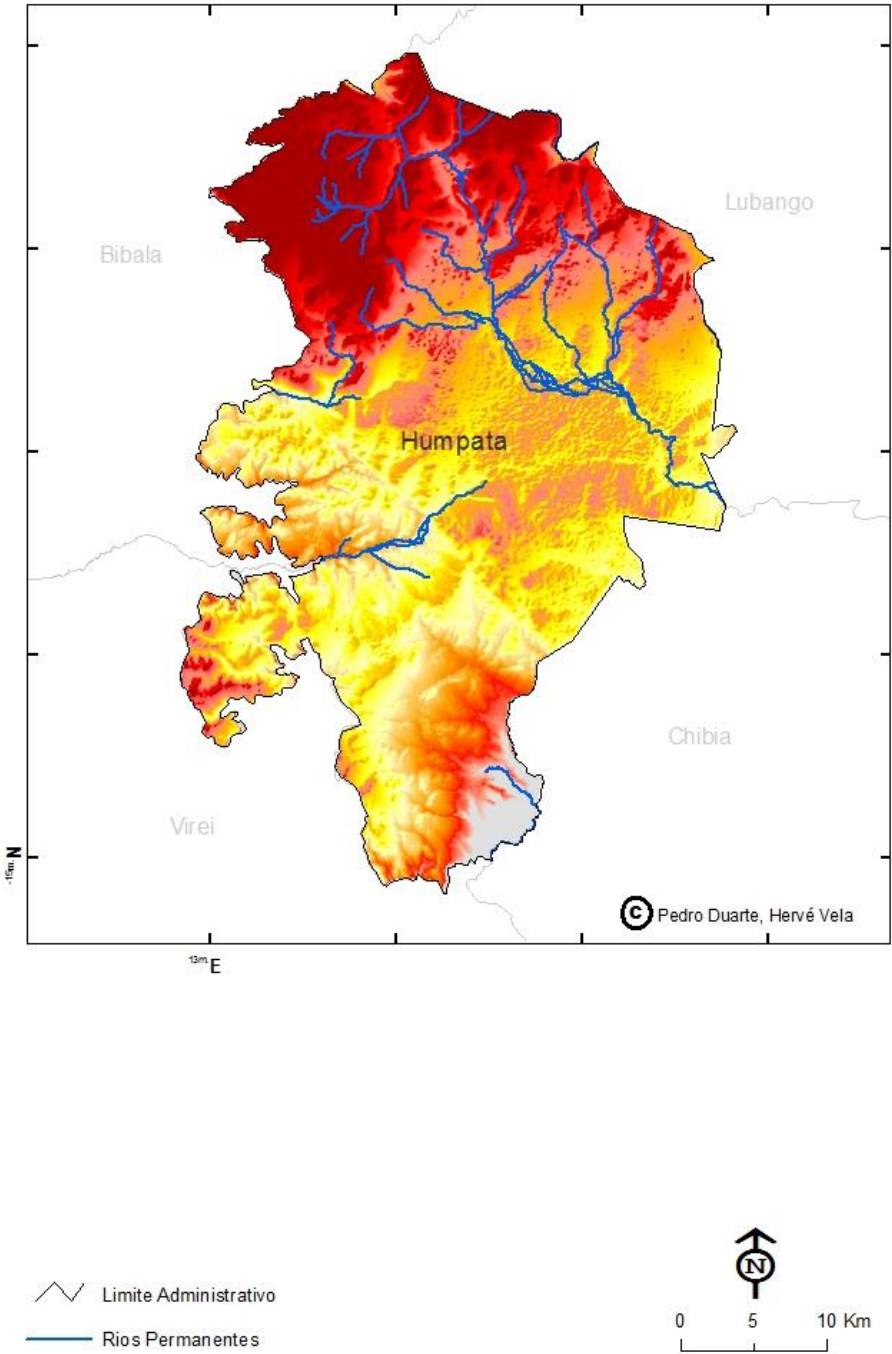
Fonte de Dados: IGCA

Figura 2: Mapa Altimétrico.



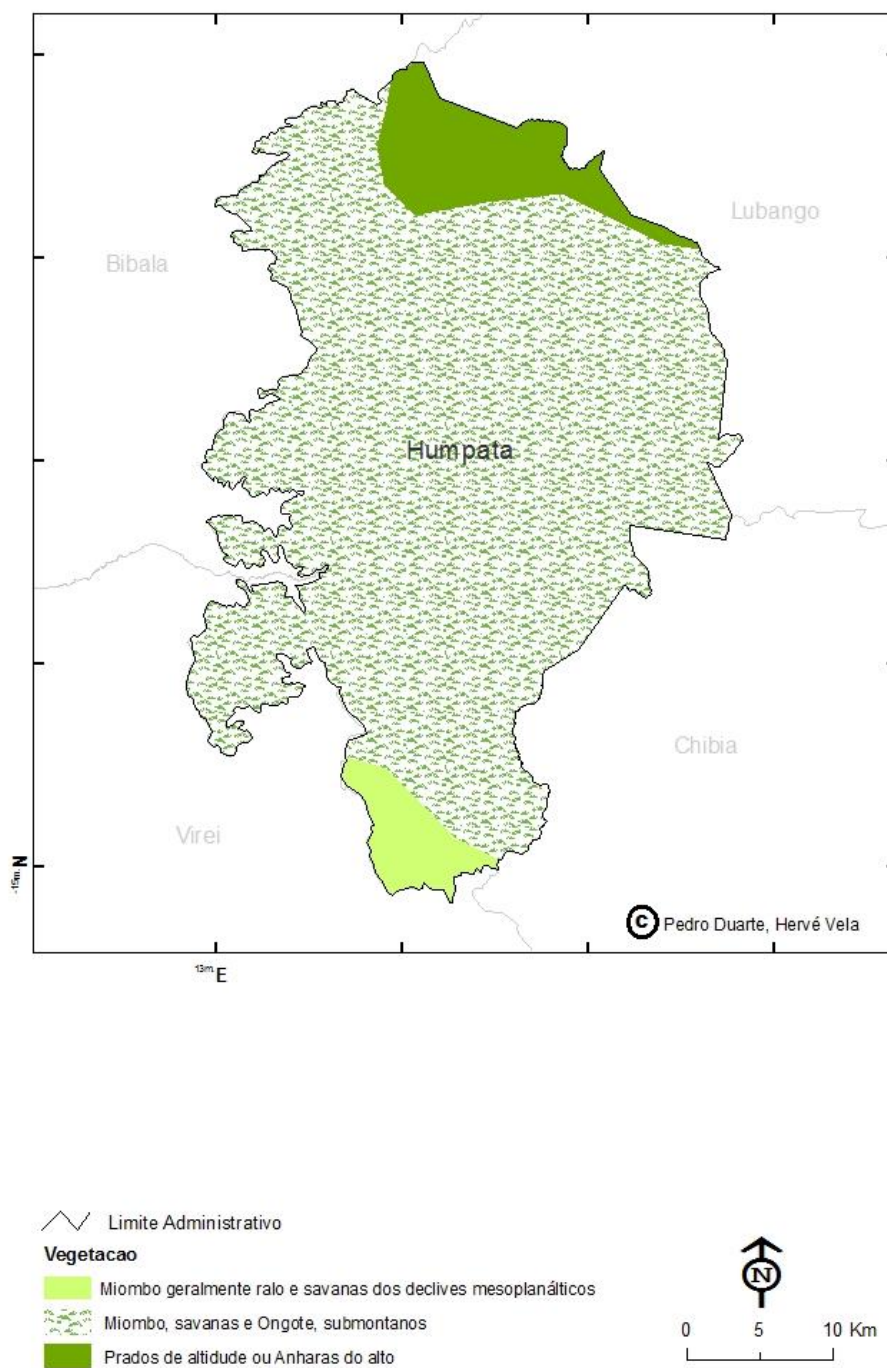
Fonte de Dados: IGCA

Figura 3: Mapa Hidrográfico.



Fonte de Dados: IGCA

Figura 4: Mapa de Vegetação.



Fonte de Dados: IGCA

Nota: As figuras (1,2,3,4) são resultado da elaboração conjunta com Pedro Duarte.

I.6. Síntese da estrutura territorial de Humpata

O esquema coremático³ (Figura 8) sintetiza a estrutura territorial do Município de Humpata. Essa síntese resulta da sistematização dos elementos biofísicos supramencionados, com base em procedimentos fundamentais de obtenção apresentados de forma genérica nos pontos seguintes:

- a) União das unidades territoriais identificadas, isto é, da representação geométrica do Grupo Chela (Formação Humpata) mediante a sua dominância e configuração, a partir da qual se sobrepôs a representação espacial das classes temáticas referentes a “outros solos” (respeitando os limites e configuração do município), “solos rochosos”, e “outras formações geológicas”, seguido da representação espacial da formação vegetal dominante, das falhas geológicas identificadas, dos cursos de água de regime permanente (elementos poligonais) e, por fim, da sede do município (elemento pontual) e das estradas principais do município (elementos lineares);
- b) Generalização com base em critérios temáticos considerando a agregação de classes, originando novas classes temáticas “outros solos” e “outras formações geológicas”, fruto da agregação de vários tipos de solos e formações geológicas de menor dominância; a separação de classes tendo em consideração o seu domínio territorial, como por exemplo, o Grupo Chela (Formação Humpata), “solo rochoso” e as formações vegetais (a mais dominante no município), e a simplificação por forma a identificar as estruturas fundamentais (estruturantes) do município.

A estrutura territorial resultante dos procedimentos adoptados revela três unidades espaciais diferenciadas, tendo em conta a seguinte síntese descritiva:

- i. Unidade central, onde se localiza a sede do município, é constituída pela ocupação da unidade geológica central mais concretamente o Grupo Chela (Formação Humpata) com predomínio de quartzitos e grés, ocupando grande parte do

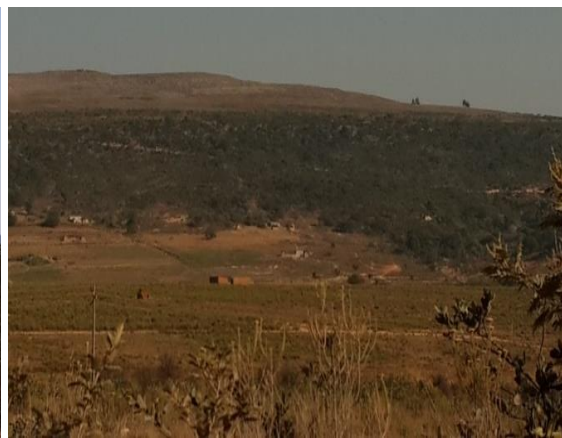
³ Correspondendo na representação gráfica e esquemática de aspectos de um território, tratando não somente de simplificar o mapa mas essencialmente de representar as estruturas dominantes no território. O Esquema (Figura 8) é resultado da elaboração conjunta com Pedro Duarte.

município. Esta unidade é caracterizada por se integrar na categoria de classe “outros solos” correspondente a tipos de solos diversos (e.g. Delgados sobre bancada Laterítica, Ferralíticos, Litossolos, Pardo-Cinzentos ou avermelhados semiáridos e Psamíticos Pardo-Acinzentados Ácidos). Verifica-se, ainda, a presença de “outras formações geológicas” predominando o Grupo Chela (Formação Leba) com tipos de solo como Calcários e Dolomites, e Granitos Biotíticos. Esta Unidade é atravessada por uma grande falha geológica (a maior do município) separando a região em duas partes, uma a Norte (N) e outra a Sul (S).

Figura 5: Floresta e Vegetação arbustiva na unidade Central.



a) Floresta Decidual



b) Miombo e vegetação arbustiva



c) Vegetação herbácea



d) Floresta, Miombo e Savana

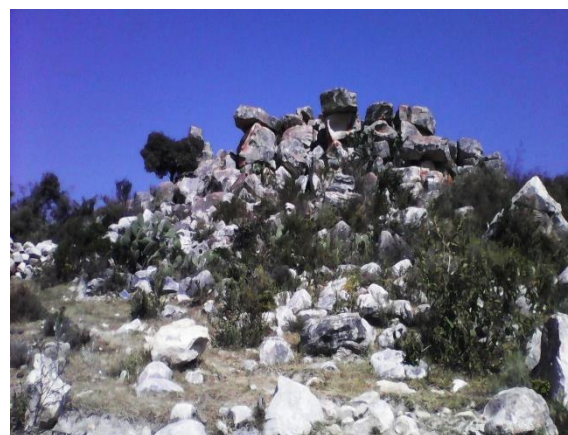
Nesta unidade coexiste uma diversidade de coberto vegetal com a dominância de três tipos - Miombo, Savana e Ongote, integrando os principais cursos de água (localizados no Norte do município estendendo-se para Sudeste). A unidade central é atravessada por uma estrada principal (Estrada Nacional 280) ligando as Províncias de Huíla e Namibe, para além de estradas secundárias de relevância municipal.

- ii. Unidade periférica Norte, diversa, sendo constituída pela secção norte do Grupo Chela (Formação Humpata) e abarcando grande parte da unidade. O solo dominante de tipo rochoso ocupa toda a Unidade, coexistindo no quadrante Noroeste (NW) tipos de coberto vegetal dominante Miombo, Savanas e Ongote; e, ainda, “outras formações geológicas” com predominância de Granitos Biotíticos nos quadrantes Noroeste (NW) e Nordeste (NE). Na unidade localizam-se as nascentes de grande parte dos principais cursos de água do município, que vão divergindo essencialmente para sudeste. Verifica-se ainda o atravessamento da estrada principal supra-referida.

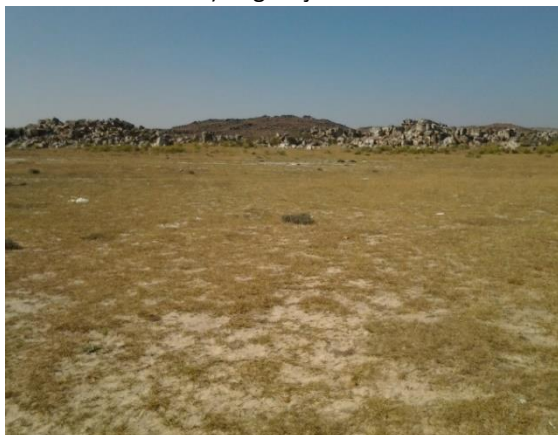
Figura 6: Vegetação Arbustiva e Solo Rochoso na Unidade Periférica Norte.



a) Vegetação arbustiva e Floresta



b) Solo rochoso e vegetação herbácea



c) Solo Rochoso e acinzentados



d) Vegetação herbácea

- iii. Unidade periférica Sul, igualmente diversa, ocupada pela secção Sul do Grupo Chela (Formação Humpata), para além de “outras formações geológicas” da formação Leba (Calcários e Dolomites) e Doleritos, sobre a qual há uma associação ao coberto vegetal dominante (Miombo, Savanas e Ongote). Salienta-se, ainda, a predominância de “solos rochosos” que ocupam grande parte da unidade, bem como a localização de uma falha geológica de pequena dimensão.

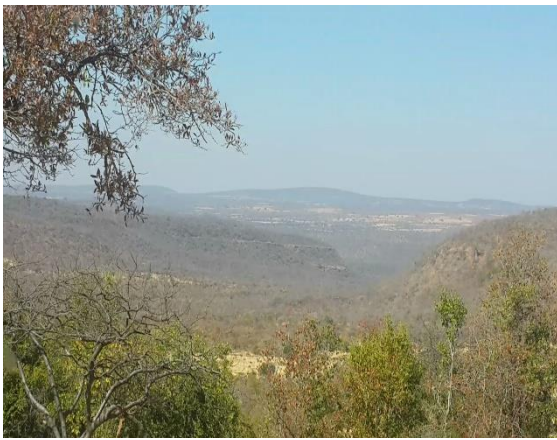
Figura 7: Floresta e Solo Rochoso na unidade periférica Sul.



a) Miombo e Solo Rochoso



b) Miombo, Savana e vegetação arbustiva

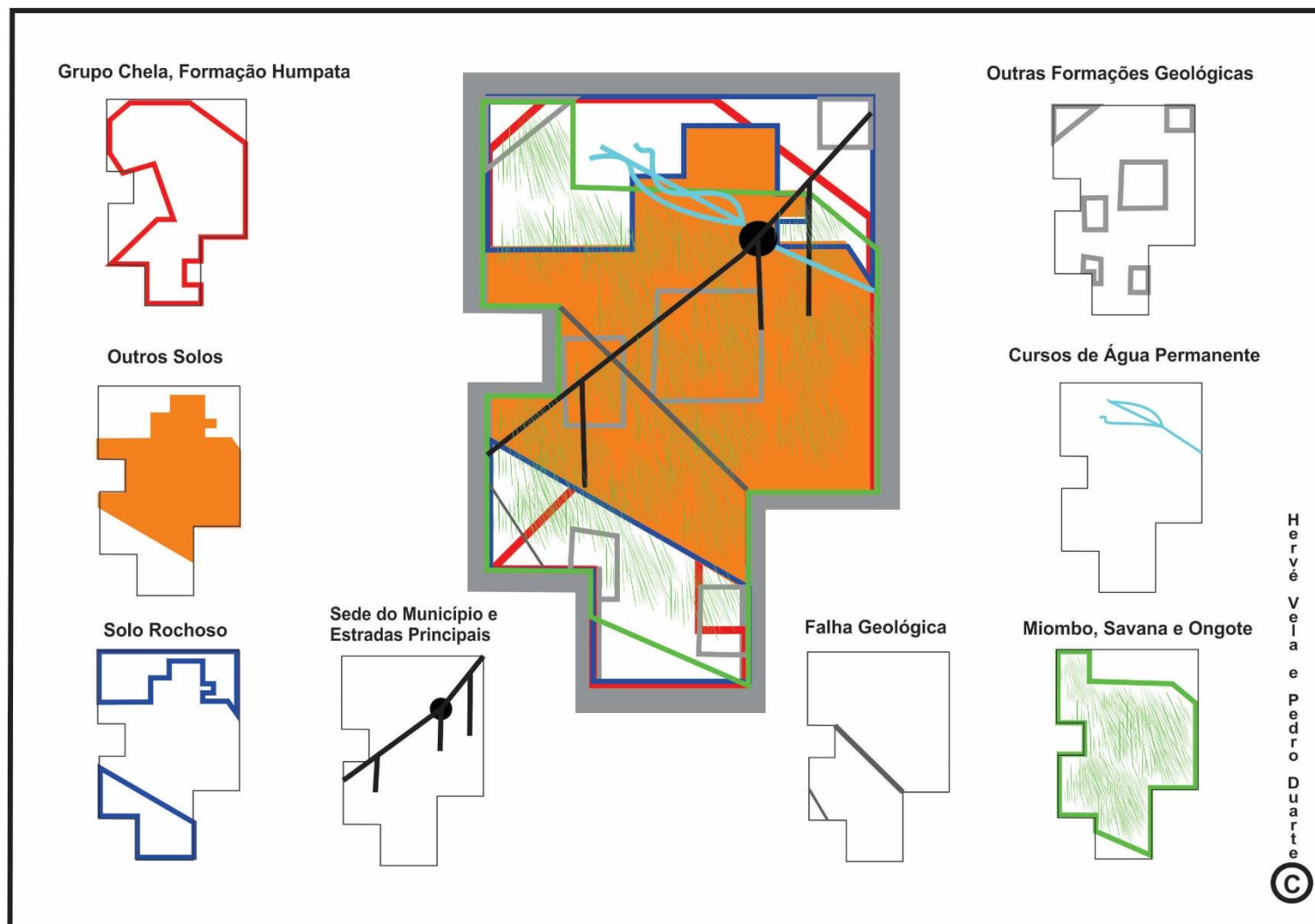


c) Miombo, Savana e Ongote



d) Solo Rochoso

Figura 8: Esquema das estruturas territoriais do Município de Humpata.



CAPÍTULO II. CARTOGRAFIA DE OCUPAÇÃO DO SOLO

II.1. Problema, objectivos e procedimentos metodológicos

As carências e dificuldades constatadas no contexto do município de Humpata ao nível de recursos (meios técnicos, tecnológicos e humanos) e de informação de referência disponível para apoio à tomada de decisão em matéria de gestão territorial, suportaram a definição do problema de investigação com a seguinte formulação: em que medida uma Carta de Ocupação do Solo ajudaria na gestão do Município de Humpata?

O objectivo geral consiste em elaborar uma carta de ocupação de solo para o Município de Humpata, com recurso a imagens de satélite. Os objectivos específicos sintetizam-se nos tópicos seguintes:

- Aplicar uma metodologia para a produção da cartografia de ocupação do solo a partir de imagens de satélite recorrendo a algoritmos de classificação supervisionada e orientada por segmentos;
- Descrever a viabilidade e potencialidade da utilização de imagens de satélite na avaliação e monitorização da ocupação do solo;
- Produzir uma carta de ocupação do solo à escala 1/250000 para monitorização mais detalhada, comparativamente aos mapas existentes e de maior utilidade para diversas aplicações exigentes em informação actualizada;
- Validação e verificação da cartografia de ocupação de solo.

A metodologia geral de investigação, aplicada no presente trabalho, integra um conjunto de procedimentos integrando nomeadamente: i) preparação inicial do projecto; ii) Revisão bibliográfica referente à temática; iii) Compilação e pré-processamento da base de dados utilizada na produção, verificação e validação da cartografia; iv) Produção da cartografia por processamento digital de imagem e por interpretação visual assistida por computador de imagens de satélite e com utilização de informação auxiliar; v) Controlo de qualidade e produção de metadados.

II.2. Cartografia de Ocupação do Solo

O Homem, sempre sentiu a necessidade de estudar e conhecer mais profundamente o território que habita. Assim, para melhor conhecer o seu território foi incrementando vários esforços e desenvolvendo técnicas para intervir e ajustar as acções às realidades territoriais. Estas técnicas foram sendo aperfeiçoadas e aplicadas em muitos estudos levados a cabo pelo Homem. Neste sentido, para um melhor e efectivo conhecimento da paisagem, vários instrumentos têm sido aplicados, como é disso exemplo o recurso à cartografia de uso e ocupação do solo.

Segundo Caetano (2002:1) “a cartografia de ocupação de solo é uma ferramenta indispensável em inúmeros estudos desde ambientais, na tomada de decisões em ordenamento e planeamento do território, bem como, na definição de políticas de gestão de recursos naturais”

Nos últimos tempos observa-se uma grande dinamização dos sistemas e programas de observação da Terra. Estes fornecem imagens de satélite com diferentes características, indispensáveis ao conhecimento da superfície terrestre. Estas imagens actualmente apresentam uma vasta gama de aplicações (científicas, comerciais, governamentais).

As imagens de detecção remota fornecem um meio eficiente de obtenção de informação sobre as tendências temporais e a distribuição espacial das áreas (urbanas e rurais), necessárias a compreensão, modelação da terra e projecção de mudanças (Fei *et al.*, 2005:318).

No contexto do planeamento, Lillesand *et al.* (2008:190) advoga o recurso à imagem de satélite para extracção de informação de suporte aos vários instrumentos de gestão territorial e de produção de cartografia de uso e ocupação do solo, a partir da aplicação de diversas técnicas ajustadas ao objecto de análise e ao fim a que se propõe. A inovação tecnológica associada a desenvolvimentos técnico-científicos possibilitou a exploração de abordagens aplicacionais com vista a um melhor aproveitamento das potencialidades e utilização eficaz das imagens. O sucesso da sua utilização passa ainda pela “indispensável interpretação das imagens”, influenciada pela própria experiência do foto-intérprete (Lillesand *et al.*, 2008:190). Assim sendo,

em regra o intérprete deve ter capacidade de aliar a observação com a abstracção (conhecimento da área) e muita paciência.

Por este facto, Caetano (2002:2) adverte que “a produção de cartografia por meio de imagens de satélite pode ser prejudicada pelo facto de algumas classes de ocupação do solo terem assinaturas espectrais semelhantes ou por não poderem ser identificadas ao nível do *pixel*”. O intérprete deve ter um conhecimento aprofundado do fenómeno a ser estudado e um grande conhecimento da área de estudo.

Em paisagens heterogéneas (caso da área de estudo), vários objectos dentro de um *pixel* e a confusão espectral dificultam a distinção entre tipos de ocupações discretas e contínuas levando muitas das vezes a estudos ambíguos sobre a ocupação do solo (Elhadi *et al.*, 2014:3441). Deste modo, para Caetano (2002:4) “a automatização ainda não é um processo independente e está dependente da intervenção humana”. Lillesand *et al.* (2008:212-213) defende que “são necessárias fontes adicionais para complementar os estudos da ocupação do solo”.

Atendendo à utilidade e vantagens de sua utilização em planeamento, “a cartografia temática fornece normalmente uma simplificação inquestionável sobre a realidade. Esta qualidade deriva dos dados de detecção remota” (Foody, 2002:186).

II.2.1. Uso e Ocupação do Solo

Os municípios actualmente apresentam uma dinâmica territorial, que por si só, justifica o conhecimento do território acompanhado pela observação e análise de imagens obtidas a partir da detecção remota. O conhecimento da componente física do território (ocupação do solo) e a dinâmica funcional (uso do solo) que o mesmo apresenta, enfatiza esta necessidade. Deste modo, para Guiomar *et al.*, (2006:1) “o uso e a ocupação do solo constituem o mais circunstancial de todos os elementos característicos e caracterizantes do espaço”

Os conceitos de uso e ocupação do solo são muitas vezes confundidos ou entendidos como semelhantes, o que origina frequentemente problemas práticos quando os produtos cartográficos de ocupação e uso são comparados entre si (EUROSTAT, 2000:13). Idealmente deveriam ser separados e cartografados independentemente.

No entanto, a maioria das nomenclaturas utilizadas acaba por integrar ambos o que origina uma dificuldade acrescida quando se procura conciliar vários produtos cartográficos.

O conceito de ocupação do solo está relacionado directamente com a descrição física do solo, correspondendo a cobertura física do solo, ou seja, trata-se de uma característica geográfica (Di Gregório e Jansen, 1998:1). Enquanto o conceito de uso do solo está ligado com a descrição funcional do espaço, de acordo com o seu propósito socioeconómico (Di Gregório e Jensen, 1998:3; Duhamel e Vidal, 1990:74; EUROSTAT, 2000:13), levando assim, a uma distinção entre coberturas semelhantes cuja utilização seja diferente. Estas são caracterizadas pelo regime, actividades e anseios que as pessoas realizam num determinado tipo de espaço com objectivo de produzir, alterar ou mantê-lo. O conceito mantém uma relação directa entre a cobertura vegetal e as acções dos indivíduos no seu ambiente (Di Gregório e Jensen, 1998:3).

Ao contrário da ocupação do solo, o uso do solo é “difícil” de observar de forma imediata e directa, fazendo com que muitas das vezes não seja fácil decidir, como é o caso das pastagens utilizadas ou não para fins agrícolas. No entanto, a separação destes dois conceitos é simples e directa. Muitas vezes, é possível deduzir sobre uma ocupação do solo, conhecendo unicamente o seu uso e vice-versa.

Em suma, muitos sistemas de informação que existem, e frequentemente utilizados, são a mistura destes dois conceitos. Exemplo disso é a consideração sobre as áreas naturais e semi-naturais descritas como sendo ocupação do solo e as áreas agrícolas como uso do solo, levando a ocorrência de aferições deturpadas.

II.2.2. Detecção Remota, funções e aplicações

A abordagem ao conceito de detecção remota está amplamente disseminada pela bibliografia da especialidade com o contributo de diferentes autores de Escolas muito diversas. Sabins (1987:1) define detecção remota como “a ciência de aquisição, processamento e interpretação de imagens adquiridas por avião e satélite que gravam a interacção entre a matéria e a energia electromagnética”. Por seu turno, Foody (2002:185) considera a detecção remota como “uma ciência com múltiplas aplicações,

uma das mais comuns, a derivação de cartografia de ocupação do solo. É uma fonte bastante atractiva para a produção de mapas temáticos, uma vez que, por seu intermédio obtemos representação da superfície terrestre contínua, coerente e disponível a várias escalas espaciais e temporais”.

Para Matos (2008:219), designa-se por processo de detecção remota “a aquisição de informação relativa a um dado fenómeno sem que haja contacto físico entre este e o dispositivo de medição”.

A detecção remota traz uma informação nova, diferente e espacialmente localizada, em particular “é principal fonte de informação para estudos de mudanças globais intervindo directamente no desenvolvimento da consciência ecológica das sociedades” (Bonn & Rochon, 1993:3). Tornou-se uma ferramenta sistematicamente aplicada na compreensão global e física dos processos espaciais que ocorrem em contextos geográficos muito distintos. A sua aplicação na classificação de imagens tem sido alvo de pesquisa por parte da comunidade científica, sendo os seus resultados referente base em diversos estudos.

II.2.3. Enquadramento: detecção remota e caracterização da ocupação do solo

Hoje em dia, atendendo à complexidade de fenómenos com incidência espacial é cada vez mais imprescindível que as instituições que aplicam e executam as políticas de planeamento, ordenamento e gestão do território tenham informações dos seus espaços com vista a criarem medidas acauteladoras. Sendo o território dinâmico e as alterações constantes, há necessidade de dados constantemente actualizados que permitam acautelar e tomar decisões para maior fundamentação da realidade.

A detecção remota sendo uma ciência com inúmeras aplicações, é nos últimos dias uma ferramenta auxiliar e de suporte à análise espacial. Sendo cada vez mais constante a necessidade da utilização e gestão sustentável dos recursos, é imprescindível que a informação a utilizar sobre o território traduza com firmeza a realidade espacial e que esteja disponível e devidamente actualizada.

Diferentes classes de ocupação do solo são definidas com base na caracterização do território, tendo em consideração a dimensão funcional ou utilização socioeconómica, presente e futura. Deste modo, diversas metodologias podem ser aplicadas com o objectivo de facilitar a caracterização da ocupação do solo, a aquisição de dados e a escolha da melhor estratégia para se definir as classes de ocupação do solo (Oliveira, 2005:1).

Estas metodologias aplicadas fazem com que a Detecção Remota seja vista como uma fonte actualizada de dados e imprescindível para caracterização da ocupação, já que, como refere Oliveira (2005:3) “as imagens apresentam face a outros dados de base vantagens reactivamente ao preço de aquisição, à frequência de disponibilidade de dados e ao detalhe”. É decorrente a este facto que Giri (2012:7) sustenta que “a caracterização e mapeamento da ocupação do solo é uma das mais populares aplicações de dados na detecção remota”.

Assim a disponibilidade que os dados apresentam, no que respeita as suas características em termos de resolução impulsionam a redução na morosidade do processo e responder as necessidades dos usuários com uma periodicidade mais reduzida, daí Oliveira (2005:3) referir que “ o maior ou menor detalhe da caracterização da ocupação do solo, isto é, características e número das unidades taxonómicas depende da resolução espaciais, espectrais e temporais utilizadas”

A detecção remota tem tido um importante e eficaz significado para a monitorização da ocupação do solo com a capacidade de fornecer, rapidamente e a grande escala, informação disponível sobre o espaço e a variabilidade da superfície terrestre (Kun *et al.*, 2014:40).

Deste modo, os recentes desenvolvimentos das características espaciais, espectrais e a melhoria nos algoritmos de classificação aumentaram ainda mais a popularidade dos dados de detecção remota como fontes para produção de mapas de uso e ocupação do solo (Foddy, 2002:187).

II.3. Métodos de Extracção de Informação

Em detecção remota existem diversas técnicas que permitem extrair informação a partir de imagens de satélite para caracterizar a ocupação do solo.

Baio (1996), citado por Oliveira (2005:24) refere que “a técnica de classificação permite transformar uma imagem de satélite numa carta temática. No decorrer desta, os objectos da superfície são agrupados de acordo com características espectrais, espaciais ou temporais homogéneas”. Neste sentido, o “primeiro passo para a extracção de informação temática de imagens de satélite consiste na definição de uma nomenclatura, também designado de esquema de classificação da cartografia” Caetano (2002:3).

Os sistemas de classificação de nomenclaturas poder-se-ão distinguir segundo dois tipos: o hierárquico e o não-hierárquico. De acordo com Di Gregório (1998) a maior parte das nomenclaturas apresenta sistemas hierárquicos, pois são sistemas mais consistentes. Estes têm a capacidade de incluir diferentes níveis de informação, começando com classes gerais, subdividindo-se, sistematicamente, em subclasses mais detalhadas. Em cada nível, as classes são mutuamente exclusivas e independentes, sendo que, as classes mais altas apresentam critérios de carácter geral e sempre que se desce de nível, o número e a complexidade dos critérios aumenta (Di Gregório, 1998:5).

Segundo Perdigão (1997:3) “a opção por um determinado sistema de nomenclatura deverá ter em consideração o estudo. As classes devem ter uma terminologia clara e bem definida, por forma a evitar termos vagos, devendo estar adaptadas aos futuros utilizadores”.

II.3.1. Nomenclaturas

A classificação da ocupação do solo é uma preocupação e necessidade de todas as entidades que trabalham com fenómenos com incidência espacial, com vista, ao conhecimento e análise das dinâmicas territoriais que ocorrem nos diferentes espaços que gerem. Neste contexto, foram desenvolvidos vários sistemas de nomenclaturas de

classificação da ocupação do solo que abrangem quer seja um contexto regional ou mesmo global.

De entre os principais sistemas de nomenclatura, definidos internacionalmente e utilizados a nível global para a classificação da ocupação do solo, destacam-se principalmente cinco sistemas que são amplamente utilizados:

- CORINE⁴ Land Cover (ao nível Europeu, tendo como produtor a Agência Espacial Europeia – EEA da União Europeia);
- Nomenclatura do United States Geological Survey, designado de USGS Land Cover (desenvolvida nos Estados Unidos da América por Anderson *et al.* (1976), sendo adoptada pelo United Geological Survey - USGS);
- Nomenclatura do International Geosphere-Biosphere Programme, actualmente denominada de IGBP Data and Information System Cover – IGBP DISCover (criado por Townshend em 1992);
- Nomenclatura da FAO Land Cover Classification System, designado de Land Cover Classification System – LCCS (este sistema foi desenvolvido pela Food and Agriculture Organization - FAO);
- AHVRR Global Land Cover Classification, também denominado de UMD 1 km Global Land Cover (sistema desenvolvido nos Estados Unidos da América pela Universidade de *Maryland*).

Considerando os cinco sistemas de nomenclatura enunciados e as características da área de estudo nomeadamente a especificidade do coberto vegetal, importa referenciar dois sistemas que de seguida se apresentam.

II.3.1.1. Corine Land Cover

Na Europa, o *Corine Land Cover* é definido como nomenclatura de referência. Este sistema resultou do programa “*Coordination of Information on the Environment – CORINE*”⁵ desenvolvido pela Agência Europeia do Ambiente (AEA) da União Europeia.

⁴ O programa Corine é o termo simplificado na língua inglesa de Co-ordination of Information on the Environment.

O *Corine Land Cover* apresenta uma nomenclatura física e fisionómica dirigida para a ocupação do solo e um sistema hierárquico com três níveis de nomenclatura, em função do qual o número de classes é definido:

- Nível I – composto por 5 classes, de carácter generalista que tentam descrever os grandes tipos de ocupação do solo no planeta;
- Nível II – composto por 15 classes, em que o objectivo é a utilização desta cartografia a escala 1: 50 000 000 e a 1: 100 000;
- Nível III – composto por 44 classes, tendo por objectivo a sua aplicação a projectos à escala 1: 100 000.

O CORINE é assim, obtido com base em imagens de alta resolução espacial. O objectivo da sua criação é servir os estados membros da União Europeia de informações actualizadas e dados com alto nível de qualidade. Oliveira (2005: 26) refere que apesar de serem alcançados tais objectivos “o programa ainda carece de informação auxiliar para a determinação das unidades que são apresentadas nos seus segundo e terceiro nível”. Relativamente ao nível 1, por ser mais generalista, permite a diferenciação entre superfícies artificiais, áreas agrícolas, florestas, áreas de vegetação semi-naturais, zonas húmidas e os corpos de água⁵.

II.3.1.2. FAO Land Cover Classification System

Waser (2004) citado por Oliveira (2005:28) referencia que a “utilização de diferentes sistemas de nomenclatura e de diferentes sensores dificulta a comparação de dados de ocupação do solo entre períodos e locais diferentes”. Esta padronização tende a conduzir a uma série de limitações, quer seja, a diferença de definições das unidades taxonómicas identificadas e a exactidão relativamente ao conteúdo, contexto e forma das classes. Por este facto, Di Gregório (1998:7) refere que “cada tipo de classificação foi desenvolvida com um certo propósito, a certa escala e usando certo tipo de dados”.

⁵ O programa Corine teve a sua criação em 1985, desenvolvido para apoiar o planeamento e ordenamento do território no continente europeu.

⁶ Informação mais detalhada sobre o programa CORINE e os seus produtos encontra-se disponível na página de internet <http://image2000.jrc.it> (último acesso: 16.04.2014).

Para ultrapassar alguns dos constrangimentos verificados a nível da classificação de territórios, especialmente aqueles fora do contexto dos países membros da União Europeia, a *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO) desenvolveu uma base de dados de classificação de ocupação do solo para todo o mundo.

O *FAO Land Cover Classification* (LCCS)⁷ resulta de uma iniciativa que visa a elaboração de uma base internacional vocacionada para a ocupação do solo. Este integra o Programa *Africover*⁸, criado para desenvolver uma abordagem para conceptualização, definição e classificação da ocupação do solo, coincidindo com a iniciativa de harmonização da classificação da ocupação e uso do solo do *UNEP/FAO*.

O LCCS é um sistema normalizado, em que as classes estão previamente definidas. O que torna este sistema único prende-se com o facto de a sua nomenclatura poder ser comparável com todos os sistemas e em todo o mundo.

É um sistema composto por duas etapas ou fases de classificação: a fase dicotómica e a fase hierárquica-modelar (Di Gregório e Jensen, 1998). De acordo com os autores, na fase dicotómica correspondente à primeira etapa são definidas oito classes genéricas: áreas territoriais cultivadas ou gerenciadas; territórios de vegetação natural e semi-natural; áreas aquáticas ou regularmente inundáveis cultivadas; áreas aquáticas ou regularmente inundáveis com vegetação natural ou semi-natural; superfícies artificiais; áreas de solo exposto ou improdutivo, corpos de água artificiais e corpos de água natural incluindo gelo e neve. Nesta fase são utilizados três tipos de classificadores (presença de vegetação, condições edáficas e cobertura artificial) sujeitos a agrupamento hierarquizado e são hierarquicamente agrupados.

No tocante à segunda etapa – fase hierárquica-modelar – são geradas as classes de ocupação de acordo com classificadores pré-definidos, divididos em dois grandes grupos: atributos ambientais e atributos técnicos específicos. Estes últimos dependem

⁷ O sistema LCCS foi criado em 2004, tendo como objectivos os que são apresentados na referida temática.

⁸ O LCCS é um programa construído com sucesso pelo GLCN (Global Land Cover Network), voltado para África. O seu objectivo foi de desenvolver uma base de dados digital georreferenciada sobre a ocupação do solo, bem como, um referencial geográfico para toda a África. Esta base de dados inclui ainda referências geodésicas homogéneas, toponímia, vegetação e hidrografia.

das características das oito classes genéricas supra-mencionadas⁹ (Di Gregório e Jensen, 1998:12-15).

Um dos princípios básicos nesta abordagem é que cada classe de ocupação do solo é definida por um conjunto independente de combinações dos “atributos diagnóstico” (Di Gregório e Jensen, 1998:12).

O limite da classe é definido quer pelo número diferenciado de classificadores ou pela presença de um ou mais tipos de classificadores. A ênfase não se verifica somente na designação da classe definida, mas sobretudo no conjunto de classificadores utilizados para definir esta classe.

⁹ Informação mais detalhada sobre este sistema está disponível em: <http://www.fao.org/docrep/003/x0596e/x0596e00.HTM> (último acesso: 13.08.2014).

CAPÍTULO III. METODOLOGIA

III.1. Dados

III.1.1. Abordagem proposta e sua justificação

O desenvolvimento deste trabalho teve implícito a adopção de uma nomenclatura considerando, em primeiro lugar, a realidade da área de estudo. Para tal, a base para a definição da nomenclatura foi o *Land Cover Classification System*. As classes temáticas foram extraídas a partir do *Geonetwork (Land Cover of Angola – Global Regional)*¹⁰.

Tendo em conta a especificidade da área em estudo, extraiu-se apenas a parte correspondente ao âmbito de abordagem e, especificamente, as classes de ocupação do solo que de acordo com o *Land Cover of Angola* predominam na área. Da extracção da área foram identificadas nove (9) classes de ocupação do solo. No quadro síntese (Quadro 1) são descritas as suas principais características.

Quadro 1: Descrição das classes de ocupação do solo (FAO – LCCS).

DESIGNAÇÃO DA CLASSE		DESCRIÇÃO
INGLÊS	PORTUGUÊS	
30 - Mosaic Vegetation/Croplands -	30 – Mosaico Pastagem, arbusto, floresta / Cultivo	Referindo-se a paisagem de vegetação nativa ou plantações de alimentação própria ao gado que ocupam grandes espaços, associando-se a um conjunto de árvores de pequeno porte, floresta nativa ou plantação arbórea em que há uma associação com zonas de cultivo ou agrícolas.
50 - Closed broadleaved deciduous forest	50 – Floresta Estacional Decidual Densa	Também chamada Floresta Estacional Caducifófila é um ecossistema do bioma <i>Mata Atlântica</i> . Referindo-se a árvores e arbustos do grupo botânico Angiospermas com excepção do <i>ginkgo (Ginkgo biloba)</i> , que é de folhas largas, mas pertencem taxonomicamente a <i>Gymnosperma</i> . Este tipo de vegetação é caracterizada por duas estações climáticas bem demarcadas, uma chuvosa seguida de longo período biologicamente seco. No entanto a vegetação neste tipo apresenta-se mais fechada ou densa.

¹⁰ O Land Cover of Angola corresponde a um conjunto de dados sobre a ocupação do solo derivado do arquivo original do *raster GLOBCOVER* - de base regional (África), na qual os dados foram pós-processados para gerar uma versão vectorial de âmbito nacional com legendas regionais *LCCS (46 classes)*, disponibilizado a partir de 13 de Maio de 2009. Informação adicional encontra-se disponível para consulta em: <http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/metadata.show?id=37168>.

60 - Open broadleaved deciduous forest	60 – Floresta Estacional Decidual Aberta	<p>Também chamada Floresta Estacional Caducidófila é um ecossistema do bioma Mata Atlântica.</p> <p>Referindo-se a árvores e arbustos do grupo botânico Angiospermas com exceção de <i>ginkgo</i> (<i>Ginkgo biloba</i>), que é de folhas largas, mas pertencem taxonomicamente <i>Gymnospermae</i></p> <p>Este tipo de vegetação é caracterizado por duas estações climáticas bem demarcadas, uma chuvosa seguida de longo período biologicamente seco. No entanto a vegetação neste tipo em comparação com a anterior apresenta-se mais espalhada, ou seja, aberta.</p>
100 - Closed to open mixed broadleaved and needleleaved forest	100 – Floresta Aberta e Fechada mista de folhas largas e com forma de agulhas	<p>Referindo-se a uma floresta de árvores e arbustos do grupo botânico <i>Gymnospermae</i> (Ford-Robertson, 1971) que levam as folhas em forma típicas. Note-se que esta categoria inclui todas as plantas em forma de agulha, mesmo que elas não sejam coníferas.</p>
110 - mosaic Forest - Shrubland/Grassland	110 – Mosaico Floresta e vegetação arbustiva / Pastagem	<p>Referindo-se a paisagem de fragmentos florestais nativos e plantações arbóreas de grande porte. Encontrando-se associados a espaços com árvores de porte pequeno ou em fase de desenvolvimento.</p> <p>E ainda a lugares com vegetação própria para a alimentação do Gado.</p>
120 - Mosaic Grassland/Forest – Shrubland	120 – Mosaico Pastagem / Floresta e vegetação arbustiva	<p>Refere-se a paisagem de vegetação nativa ou plantações de alimentação própria ao gado que ocupam grandes espaços, associando-se a um conjunto de árvores de pequeno porte os mesmo em fase de crescimento se assim considerarmos.</p>
130 - Closed to open shrubland	130 – Vegetação Arbustiva Densa e Aberta	<p>Refere-se àquela vegetação com árvores de porte pequeno ou em fase de desenvolvimento mas que no entanto apresentam-se densas em determinados lugares e mais espalhadas em outros lugares.</p>
140 - Closed to open grassland	140 – Vegetação Herbáceo-arbustiva Densa e Aberta	<p>Referindo-se a vegetação em que predominam plantas com crescimento curto com caules macios, estando associadas a arbustos com um porte reduzido, mas que no entanto em determinadas zonas apresentam-se bastantes densos e noutros espalhados.</p>
143 - Open grassland	143 – Campo de Pasto Aberto	<p>Referindo-se a lugares com vegetação própria para a alimentação do Gado, ou seja, terras com tipos herbáceas de cobertura. Arbóreas arbustivas em que a cobertura é inferior a 10 %.</p>

Adaptado de Land Cover Classification System (User Manual).

O *Land Cover Classification System* tem a particularidade de classificar o tema vegetação segundo as características mais particulares de cada espécie, isto é, usando métodos de classificação fisionómicos e estruturais ou a combinação entre os dois

(fisionómico-estruturais). Um dos seus objectivos últimos é permitir que haja o mínimo de confusão possível na classificação.

Estas classes de ocupação do solo foram objecto de análise permitindo criar a nomenclatura final aplicada na produção da Carta de Ocupação do Solo proposta no trabalho. Para se ter tais aferições recorreu-se a informação de suporte por observação visual realizada a partir de visitas de campo, complementando a análise da imagem Landsat.

A adopção da nomenclatura final teve em consideração o LCCS, sistema de referência neste estudo como acima referido, com particular ênfase no seu nível 1. Nível a partir do qual foi possível proceder-se à generalização de algumas classes de ocupação de solo. Como resultado da agregação de algumas classes (das 9 identificadas a partir *Land Cover of Angola*) o produto final considerou sete (7) classes temáticas.

Quadro 2: Classes definidas para a vegetação baseadas no LCCS.

CLASSES	NOMENCLATURA
Água	A
Áreas Artificializadas	AA
Áreas Agrícolas e Pastagens	AAP
Coberto herbáceo e arbustivo	CHA
Vegetação Arbustiva	VA
Floresta	F
Solo Exposto	SE

III.1.2. Programa Landsat¹¹

O programa de observação da Terra da NASA¹² iniciou-se em 1972 com o lançamento do satélite ERTS-1 (*“Earth Resource Technology Satellite”*), posteriormente designado de *Landsat 1*. Este programa foi experimental até 1983, data em que foi declarado operacional, iniciando-se a fase de comercialização das imagens recolhidas pelos

¹¹ Landsat corresponde a nomenclatura do programa de satélites de observação da Terra da NASA (Land + Satellite).

¹² Na língua inglesa corresponde ao National Aeronautics and Space Administration.

satélites. Um ano mais tarde, o satélite *Landsat 5* foi colocado em órbita (1984), numa órbita quase circular, com uma altitude de 705 km e uma inclinação de 98,2°. O satélite percorre uma órbita completa em 99 minutos, intervalo de tempo durante o qual extrai os dados a partir da observação da Terra numa faixa de varrimento de 2875 km (no Equador), tendo uma resolução temporal de 16 dias.

O Landsat 5 opera com dois sensores, isto é, o sensor MSS (*"Multispectral Scanner"*) e o sensor TM (*"Thematic Mapper"*). O sensor MSS possui quatro bandas espectrais idênticas do Landsat 1 e 2. Destacam-se a banda 4 verde visível com comprimento de onda de (0,5 a 0,6 μm), a banda 5 do vermelho visível (0,6 a 0,7 μm), a banda 6 do infravermelho próximo (0,7 a 0,8 μm), e banda 7 do infravermelho próximo (0,8 a 1,1 μm).

O sensor TM por sua vez possui sete bandas espectrais incluindo uma térmica. A destacar as bandas do visível, como a banda 1 (0,45 – 0,52 μm), a banda 2 (0,52 – 0,60 μm), banda 3 (0,63 – 0,69 μm). As bandas 4 e 5 são do infravermelho próximo, isto é, banda 4 (0,76 – 0,90 μm) e banda 5 (1,55 – 1,75 μm). A 6 (10,40 – 12,50 μm) é correspondente a banda térmica. E finalmente a banda 7 (2,08 – 2,35 μm) corresponde a banda do infravermelho médio.

As especificações dos sensores MSS (*"Multispectral Scanner"*) e TM (*"Thematic Mapper"*) a bordo do satélite Landsat 5 são apresentadas no quadro 3, abaixo apresentado:

Quadro 3: Sensores MSS e TM do Satélite Landsat 5.

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral (μm)	Resolução Espacial (m)
Multispectral Scanner (MSS)	(B4) Verde Visível	0,5 – 0,6 μm	57 x 79 m
	(B5) Vermelho Visível	0,6 – 0,7 μm	57 x 79 m
	(B6) Infravermelho	0,7 – 0,8 μm	57 x 79 m
	(B7) Infravermelho	0,8 – 1,1 μm	57 x 79 m
Thematic Mapper (TM)	(B1) Visível	0,45 – 0,52 μm	30 m
	(B2) Visível	0,52 – 0,60 μm	30 m
	(B3) Visível	0,63 – 0,69 μm	30 m
	(B4) Infravermelho Próximo	0,76 – 0,90 μm	30 m
	(B5) Infravermelho Próximo	1,55 – 1,75 μm	30 m
	(B6) Térmica	10,40 – 12,50 μm	120 m

(B7) Infravermelho Médio	2,08 – 2,35 μm	30 m
-----------------------------	---------------------------	------

Adaptado de USGS, Disponível em: http://landsat.usgs.gov/about_landsat5.php, acessado em: 20.02.2015

A resolução espacial das imagens *Landsat 5 TM* é de 30 m, para as bandas 1 a 5 e 7, e de 120 m para a banda 6 (infravermelho térmico). A resolução efectiva das bandas 1 a 5 e 7 é de 35 metros. As imagens são fornecidas ao utilizador com um elemento de imagem de 30 × 30 m.

Em Outubro de 1993 foi lançado o satélite *Landsat 6*. O satélite falhou a entrada em órbita e a comunicação com o satélite nunca mais foi estabelecida.

Em Dezembro de 1999 foi lançado o satélite *Landsat 7* numa órbita idêntica à dos satélites *Landsat 4* e 5. A plataforma transporta um novo sensor designado “*Enhanced Thematic Mapper Plus*” (ETM+).

O sensor ETM+ possui oito bandas espectrais, inclui uma pancromática e uma térmica. Deste modo, as bandas 1 a 3 correspondem a banda do visível, onde o comprimento de onda da banda 1 é de (0,45 – 0,52 μm), a banda 2 (0,52 – 0,60 μm), e a banda 3 (0,63 – 0,69 μm). As bandas 4 e 5 correspondem as bandas do infravermelho próximo, onde a banda 4 tem um comprimento de onda de (0,77 – 0,90 μm) e a banda 5 (1,55 – 1,75 μm). A banda 6 (10,40 – 12,50 μm) corresponde a banda térmica. A banda 7 (2,08 – 2,35 μm) corresponde a do infravermelho médio. Já a banda 8 (0,52 – 0,90 μm) corresponde a banda pancromática (PAN).

As imagens *Landsat 7 ETM+* apresentam uma resolução espacial de 30 m, para as bandas 1 a 5 e 7, de 60 m para a banda 6 (térmica) e de 15 m para a banda pancromática (banda 8). A resolução efectiva das bandas 1 a 5 e 7 é de 35 metros. As imagens são fornecidas ao utilizador com um elemento de imagem de 30 × 30 m e de 60 × 60 m para a banda térmica (banda 6).

As especificações do sensor “*Enhanced Thematic Mapper Plus*” (ETM+) a bordo do satélite são sintetizadas no quadro 4 abaixo indicado:

Quadro 4: Sensor ETM+ do satélite Landsat 7.

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral (μm)	Resolução Espacial (m)
“Enhanced Thematic Mapper Plus” (ETM+)	(B1) Visível	0,45 – 0,52 μm	30 m
	(B2) Visível	0,52 – 0,60 μm	30 m
	(B3) Visível	0,63 – 0,69 μm	30 m
	(B4) Infravermelho Próximo	0,77 – 0,90 μm	30 m
	(B5) Infravermelho Próximo	1,55 – 1,75 μm	30 m
	(B6) Térmica	10, 40 – 12, 50 μm	60 m
	(B7) Infravermelho Médio	2,08 – 2,35 μm	30 m
	(B8) Pancromática (PAN)	0,52 – 0,90 μm	15 m

Adaptado de USGS, Disponível em: http://landsat.usgs.gov/about_landsat7.php, acedido em:20.02.2015

III.1.3. Landsat 8

No seguimento das missões *Landsat 5* e *7*, deu-se o lançamento do satélite *Landsat Data Continuty Mission (LDCM)*, também denominado *Landsat 8* (11 de Fevereiro de 2013). Segundo Asner citado por Tollefson (2013) “o *Landsat 8* é a missão de observação da Terra da NASA mais importante em mais de uma década”.

O sucesso no lançamento da missão LDCM, veio fornecer uma nova fonte de dados para o monitoramento e cobertura da Terra, pelo facto dos dados fornecidos apresentarem um grande potencial na melhoria significativa da caracterização da superfície terrestre. Neste contexto, com o Landsat 8 podemos obter maiores detalhes e uma maior cobertura da superfície terrestre, impulsionada pelas características dos sensores colocados a bordo do satélite.

O LDCM opera com os instrumentos OLI (*Operational Land Imager*) e TIRS (*Thermal Infrared Sensor*). O sensor OLI possibilitou a continuidade dos produtos gerados a partir dos sensores TM e ETM+, a bordo das plataformas anteriores, além de incluir duas novas bandas espectrais, uma projectada para estudos de áreas costeiras e outra para detecção de nuvens do tipo *cirrus*. Este sensor apresenta bandas espectrais para colecta de dados com resolução radiométrica de 12 bits na faixa do visível,

infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas e de uma banda pancromática. De acordo com o USGS (2013) “a entrada em operação do sensor a bordo do *Landsat 8*, permite a continuidade dos trabalhos em detecção remota iniciados na década de 1970”, com a missão *Landsat*. O quadro 5 apresenta de forma sintética as principais especificações do referido sensor.

Quadro 5: Especificações do Sensor OLI

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Área Imageada	Res. Radiométrica
OLI <i>(Operational Land Imager)</i>	(B1) COSTAL	0.433 - 0.453 μm	30 m	16 dias	185 km	12 bits
	(B2) AZUL	0.450 - 0.515 μm	30 m	16 dias	185 km	12 bits
	(B3) VERDE	0.525 - 0.600 μm	30 m	16 dias	185 km	12 bits
	(B4) VERMELHO	0.630 - 0.680 μm	30 m	16 dias	185 km	12 bits
	(B5) INFRAVERMELHO PRÓXIMO	0.845 - 0.885 μm	30 m	16 dias	185 km	12 bits
	(B6) INFRAVERMELHO MÉDIO	1.560 - 1.660 μm	30 m	16 dias	185 km	12 bits
	(B7) INFRAVERMELHO MÉDIO	2.100 - 2.300 μm	30 m	16 dias	185 km	12 bits
	(B8) PANCROMÁTICO	0.500 - 0.680 μm	15 m	16 dias	185 km	12 bits
	(B9) Cirrus	1.360 - 1.390 μm	30 m	16 dias	185 km	12 bits

Adaptado de USGS e Embrapa.

O sensor TIRS possui bandas espectrais na faixa do infravermelho térmico, dando continuidade à aquisição de dados captados pela banda 6 dos sensores TM e ETM+. Os dados do sensor TIRS possuem 100 m de resolução espacial, com resolução radiométrica de 12 bits de correção com os dados oriundos do sensor OLI (Embrapa¹³, 2013). As especificidades do sensor são apresentadas em síntese no quadro seguinte:

¹³ A Embrapa é uma empresa brasileira que actua na geração de conhecimento, tecnologias e inovações geoespaciais para a agricultura (Monitoramento).

Quadro 6: Especificações do Sensor TIRS.

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Resolução Radiométrica	Área Imageada
TIRS (Thermal Infrared Sensor)	(B10) LWIR – 1	10.30 -				
		11.30 μm	100 m	16 dias	12 bits	185 km
	(B11) LWIR – 2	11.50 -				
		12.50 μm	100 m	16 dias	12 bits	185 km

Adaptado de USGS e Embrapa.

III.1.4. Aquisição das imagens e caracterização

Com a evolução que se tem verificado nos últimos tempos na Detecção Remota, principalmente no que diz respeito a satélites de observação da Terra, a inovação e diversidade de sensores têm facilitado a aquisição de imagens. O programa Landsat apresenta esta vantagem e, mais importante ainda, pode-se descarregar gratuitamente imagens de satélites de todas as partes do Globo tendo em conta o interesse e objectivos do utilizador.

Desta forma, procedeu-se à recolha dos dados (imagens Landsat 8) extraídos de forma gratuita a partir do *United States Geological Survey (USGS, 2013)*¹⁴. As imagens abrangem a área correspondente à região de Humpata – Angola, tendo como premissas para o seu descarregamento a inserção *a priori* da área de referência e respectiva localização correspondente à região de interesse (*path/row* 181/70 e 181/71, respectivamente), acompanhado pelo ficheiro de metadados. A data de aquisição das imagens corresponde a 2 de Maio de 2013.

Deste modo, obtiveram-se as 11 bandas espectrais distribuídas de acordo com os dois sensores, ou seja, oito bandas para o sensor OLI (Banda 1 a Banda 9) e duas bandas a partir do sensor TIRS (Banda 10 e 11).

As imagens apresentam características particulares, que sintetizamos de acordo com a seguinte descrição:

¹⁴ O USGS é uma organização científica que fornece informação sobre a saúde dos ecossistemas e meio do ambiente, os perigos naturais que ameaçam-nos, os recursos naturais de que dependemos, os impactos que ameaçam a mudança do clima e do uso e ocupação do solo, e os sistemas de núcleos científicos que ajudam a fornecer informação oportuna, relevante e útil. E portanto, fornecendo informação científica confiável para poder compreender a Terra. Informação adicional em: <http://www.usgs.gov/>, <http://earthexplorer.usgs.gov/>

- a Banda 1 corresponde à banda Costeira/Aerossol, também denominada de ultra-azul, apresentando um comprimento de onda de 0,43 – 0,45 μm , caracterizado pela dispersão de partículas de aerossóis na atmosfera e partículas finas em suspensão, sendo a sua aplicação dirigida para o estudo de áreas costeiras;
- as Bandas 2, 3 e 4 (azul, verde e vermelho), comumente combinadas em composições de cor natural, na qual, a banda 2 (azul) é útil em mapeamento batimétrico, distinguindo solo da vegetação e vegetação decídua de vegetação de coníferas. A banda 3 (verde) enfatiza a vegetação de pico, sendo útil para a avaliação do vigor das plantas. Já banda 4 (vermelho) é proveitosa na discriminação da vegetação de encostas;
- a Banda 5 (Infravermelho próximo) é mais utilizada para estudos de vegetação e utilização de índices de vegetação (NDVI);
- as Bandas 6 e 7 (infravermelho de ondas curtas SWIR1 e SWIR2) são particularmente úteis para distinguir solos húmidos e secos e para estudos geológicos;
- a Banda 9 (Cirrus) vocacionada para a detecção de nuvens altas denominadas de *cirrus*, permitindo, por meio da fusão com outras bandas espectrais, melhorar a interpretação visual;
- finalmente, as Bandas 10 e 11 (infravermelho térmico TIRS1 e TIRS2) são usadas para se estudar a variação da temperatura dos corpos à superfície da Terra (Santos, *et al.* 2014:12).

De acordo com as características das bandas espectrais e em função do objectivo deste estudo, teve-se como referência as bandas 3, 4 e 5 por facilitarem os estudos sobre o coberto vegetal.

III.2. Processamento Digital de Imagem

III.2.1. Pré-Processamento

As imagens, na forma em que são captadas originalmente a partir dos satélites de observação da Terra, apresentam deformações ou erros sujeitos a correcções. Estas

podem ser radiométricas (desajustes na calibração dos detectores), erros esporádicos na transmissão dos dados, influência atmosférica e distorções geométricas. Há, assim, necessidade de correcções prévias de maneira a não comprometer os resultados e produtos derivados das imagens. O pré-processamento, que é a etapa preliminar do tratamento digital de imagens, tem esta finalidade.

Segundo Vanonckelen *et al.* (2014:4953), “ as técnicas de pré-processamento são um passo essencial para melhorar a interpretação das imagens de satélite”. Portanto esta etapa afigura-se indispensável para qualquer estudo, possibilitando um desenrolar mais harmonioso das etapas subsequentes. Este trabalho integrou esta fase prévia de processamento com base em duas técnicas fundamentais, a (re)projectação da imagem e a correcção dos efeitos atmosféricos, permitindo eliminar algumas distorções e erros na imagem. .

III.2.1.1. Reprojectação das Imagens

As imagens de satélite Landsat 8 devem ser sempre (re)projectadas para o sistema de coordenadas geográficas da região em que a área de estudo se enquadra.

Por “defeito” as imagens disponibilizadas pelo *USGS* estão projectadas no sistema de projecção WGS1984/Datum UTM Zona 33 N, sendo no entanto necessário (re)projectá-las para o sistema de projecção WGS1984/Datum UTM Zona 33 S.

III.2.1.2. Correcção Atmosférica

A remoção eficaz dos efeitos atmosféricos em imagens de detecção remota é um passo de pré-processamento essencial para o estudo da ocupação do solo (Vanonckelen *et al.* 2014:4952). Para a realização de uma análise espectral a partir de sensores remotos é fundamental que se realize uma perfeita correcção atmosférica.

A correcção dos efeitos atmosféricos (correcção atmosférica) reduz as distorções da imagem. Em regra, estas distorções são causadas pela interação entre a radiância e a atmosfera (Vanonckelen *et al.* 2014:4952).

Um dos métodos mais comumente utilizado na correcção atmosférica é o *Dark Object Subtraction* (subtração de objecto escuro) (Chavez, 1996).

O *dark object subtraction model* tem como objectivo seleccionar valores espectrais de neblina que se encontram correlacionados entre si. É um procedimento estritamente baseado na imagem e não necessita de medições de campo *in-situ*, sendo um modelo simples e relativamente fácil de aplicar (Chavez, 1996:1025-1027).

Neste trabalho, as operações de correcção atmosférica foram realizadas utilizando o método supramencionado. Esta operação de pré-processamento foi realizada em ambiente *IDRISI Taiga*. Para o efeito foi utilizada a ferramenta *Atmospheric correction of remotely sensed images* (ATMOSC).

O *IDRISI Taiga* disponibiliza quatro modelos distintos a partir desta ferramenta (ATMOSC): um modelo de reflectância aparente – *apparent reflectance model* (ARM), de subtração de objecto escuro – *dark object subtraction model* (DOS), um terceiro modelo ($\cos(t) - \cos(t)$ model) e o modelo de equação de transferência radiativa total – *full model* (FULL).

A operação teve em consideração a sequência dos seguintes parâmetros:

- a) Selecção do modelo, operação correspondente à escolha do modelo a utilizar para a realização do processo de correção das distorções da imagem, tendo-se optado pelo método *DOS*;
- b) Escolha da opção de calibração da radiância: a correcção atmosférica requer que os números digitais de uma imagem “crua” sejam convertidos em valores de radiância. Para o efeito foi seleccionado a opção *Lmin/Lmax*.
- c) Inserção dos dados de aquisição: fase de inserção dos dados referentes a data, dia, mês, ano e hora de aquisição da imagem (com base no ficheiro de metadados).
- d) Inserção do comprimento de onda: neste passo, consistiu em procurar na descrição do ficheiro os dados correspondentes ao comprimento de onda do centro da faixa da imagem (em μ).

- e) Selecção da(s) banda(s): esta fase correspondeu à selecção das bandas a integrar na operação de correcção¹⁵.
- f) Valores de radiância: definição dos valores máximo e mínimo de radiância com o recurso ao ficheiro de metadados.
- g) Elevação do Sol: indicação do valor correspondente a elevação do Sol no momento de aquisição das imagens.

Saliente-se que a aplicação desta operação de correcção a partir da etapa b) a g) suportou-se na leitura do ficheiro de Metadados¹⁶ txt., baseando-se assim na indicação dos elementos fidedignos associados à respectiva imagem.

III.2.2. Fluxograma e Metodologia

O desenvolvimento do trabalho em apreço é orientado por uma abordagem metodológica que alia a Detecção Remota e os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), a partir da aplicação de métodos e técnicas de Processamento Digital de Imagem (PDI) e de Análise Visual de Imagem (AVI).

O Processamento Digital de Imagens (PDI) realizou-se em ambiente *Idrisi Taiga e SPRING 2.5*. tendo como objectivo principal a recolha de informação qualitativa e/ou quantitativa necessária para atingir o propósito estabelecido.

As operações de PDI podem classificar-se em: (i) operações de pré-processamento (eliminação de algumas distorções referidas anteriormente), (ii) operações de transformação (a partir de alterações na imagem inicial, com o objectivo de realçar a informação mais importante para aplicação no estudo em causa) e, finalmente, (iii) operações de exploração de imagens (extracção de informação necessária para a sua aplicação).

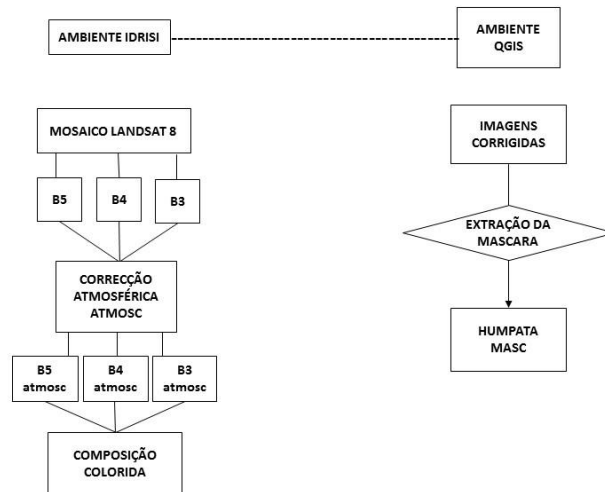
Uma vez que a imagem não apresentava distorções geométricas, radiométricas e de georreferenciação, a operação de pré-processamento realizada foi a correcção dos

¹⁵ As bandas foram seleccionadas uma a uma, isto é, o processo de correcção foi realizado banda a banda. Esta operação tendo em consideração as bandas definidas pelo utilizador.

¹⁶ Este ficheiro (Metadados) foi nesta etapa de grande importância, por apresentar a descrição da imagem. Serviu no entanto, de fonte de extracção de toda a informação relativa as imagens.

efeitos atmosféricos (correção atmosférica). Como referido anteriormente, esta fase teve como objectivo a remoção de algum “haze” existente na imagem numérica (figura 9).

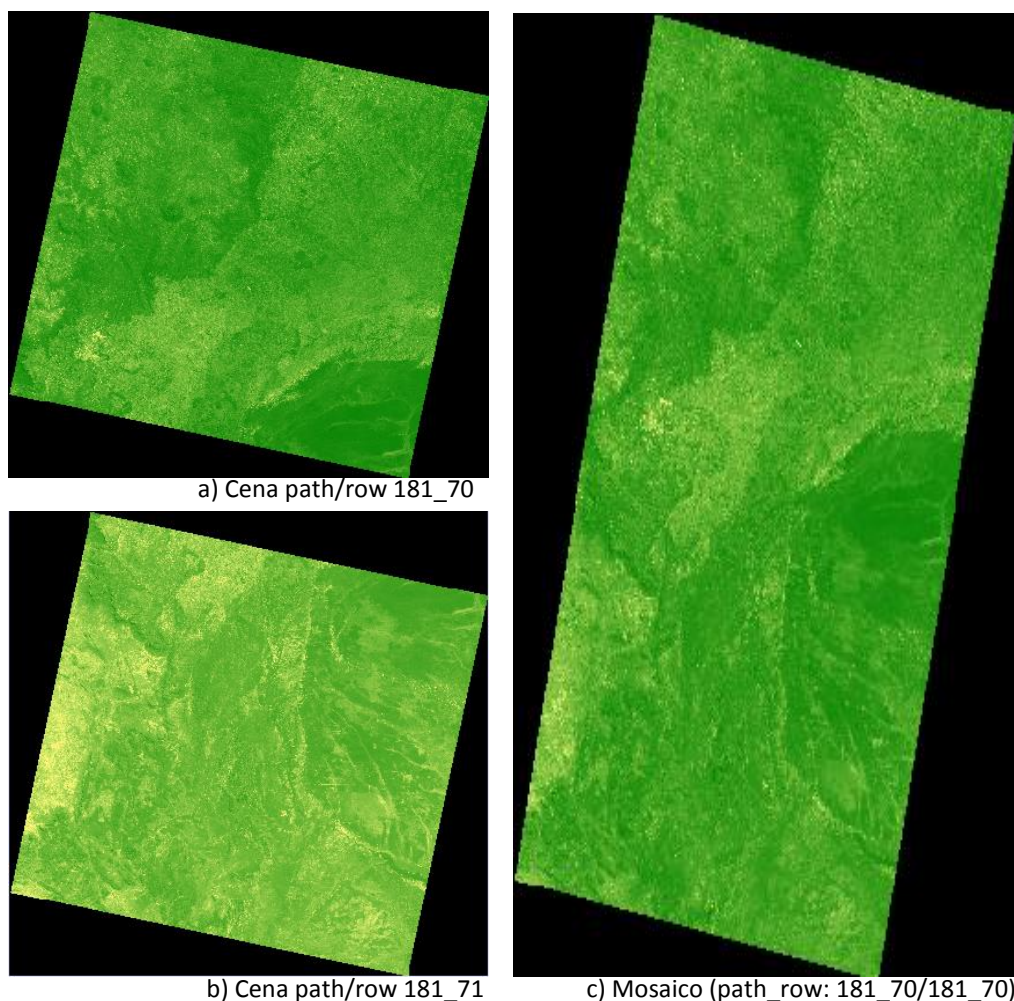
Figura 9: Procedimentos de correção Atmosférica e de “Corte” pelos limites administrativos do município



O município de Humpata, atendo à sua localização, contempla duas cenas (*path/row* 181/70 e 181/71, respectivamente) exigindo a criação de um mosaico com as duas cenas que integram a área total do município. O mosaico da imagem (cenas com *path/row* 181_70 e 181_71) foi realizado a partir das bandas espectrais (3, 4 e 5) de ambas as cenas. O mosaico da imagem teve como objectivo a criação de uma nova imagem (ficheiro único) com as mesmas características das cenas usadas.

O mosaico das cenas foi realizado utilizando-se a ferramenta *Image mosaicking (Mosaic)* disponível no *software Idrisi Taiga*. Este processo correspondeu essencialmente à inserção das bandas a serem processadas (duas bandas, uma correspondente a cena com *path/row* 181/70 e outra da cena com *path/row* 181/71) e na definição do método a aplicar na execução do processo.

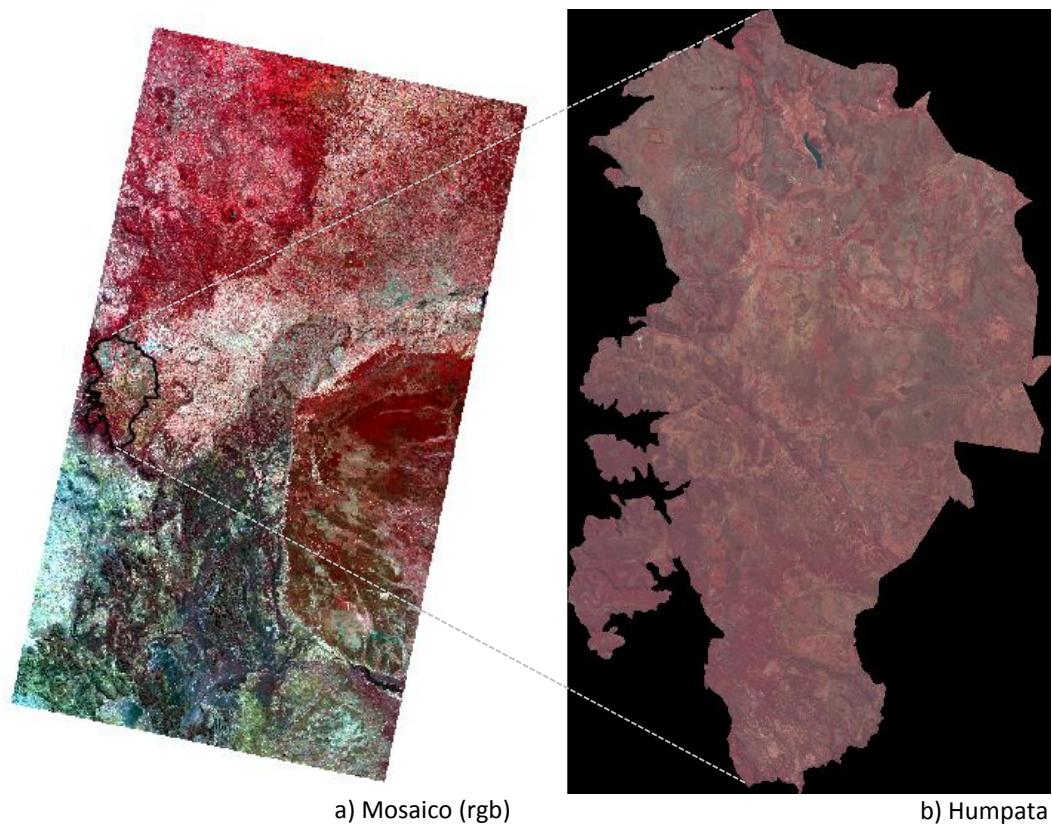
Figura 10: Mosaico de imagem



Após a criação do mosaico, passou-se à fase de correção atmosférica (explicitada no ponto anterior) aplicando o modelo *dark object subtraction (DOS)*, e inserido nos passos seguintes as informações disponibilizadas no ficheiro de Metadados da imagem. Finalizado o processo de correcção das bandas espectrais seleccionadas (banda 3, 4 e 5), procedeu-se à criação de uma composição colorida falsa cor (R5_B4_G3), testando-se, assim, o sucesso da operação.

As imagens corrigidas foram assim exportadas para ambiente *QGIS Valmiera 2.2.0* para a extração da região (máscara) a partir dos limites administrativos do Município (Humpata). Este processo foi realizado com o recurso as ferramentas de extracção (*Extract*) disponível no menu *Raster* do *software*. Desta feita, a ferramenta de extracção usada especificamente foi a de corte (*Clipper*). Portanto para a execução seleccionou-se a imagem corrigida e como máscara (sobre a qual se extraiu os limites) o município de Humpata.shp.

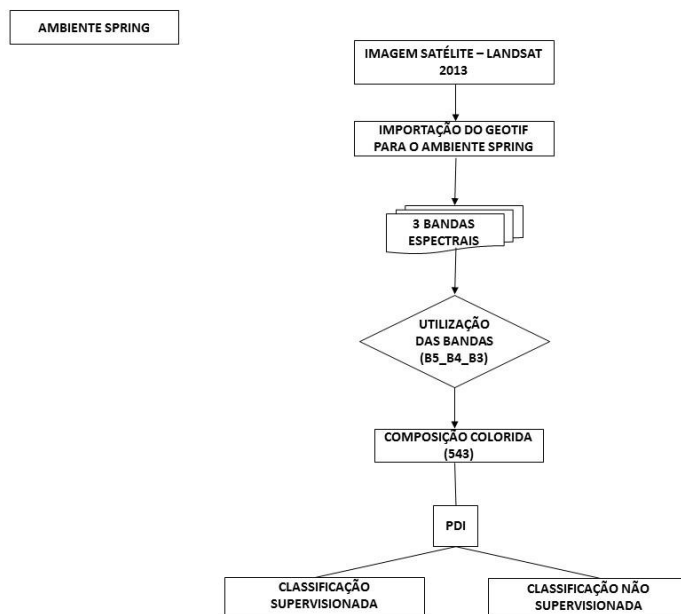
Figura 11: Extracção da Máscara



Portanto, a partir desta fase começou-se a trabalhar exclusivamente com a parte da imagem correspondente ao município de Humpata.

A Figura 12 representa a fase de processamento dos dados a partir da imagem Landsat 8 (corrigida). Esta etapa é fundamental para o início do processo de exploração da imagem e execução efectiva do objectivo proposto.

Figura 12: Processamento digital de Imagem.



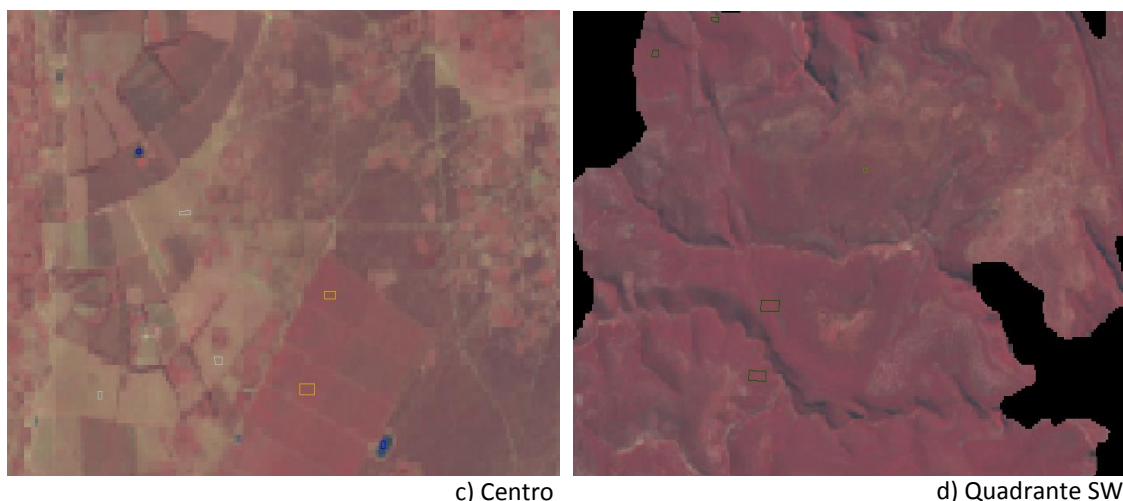
No seguimento dos procedimentos técnicos, procedeu-se à importação da imagem correspondente ao município (corrigida) para o ambiente *Spring*.

O desenvolvimento do projecto, primeiramente, passou pela criação e activação do banco de dados. A sua criação visou definir o directório (Projecto_Humpata) onde foram armazenados os dados do projecto e os *outputs* resultantes. Seguidamente, passou-se para a criação e activação do Projecto (Humpata), correspondente a um subdirectório dentro do banco de dados, definindo-se o nome do projecto, a projecção de referência, e as respectivas coordenadas da imagem, para além da indicação do modelo de dados inicial com especificação da categoria. Este momento é indispensável em ambiente *Spring*, correspondendo à fase de preparação do projecto.

Após estarem cumpridas as etapas de preparação do projecto, procedeu-se à importação das imagens (bandas 3, 4 e 5) propriamente dita para o ambiente *Spring*.

A partir da combinação destas bandas obteve-se a composição colorida falsa cor por combinação das bandas 5, 4 e 3 no sistema RGB. A opção pela criação desta composição colorida prende-se com o facto de ser adequada a estudos com incidência na análise do coberto vegetal.

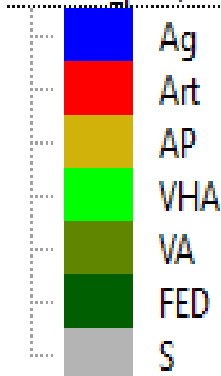
O passo seguinte, correspondente em PDI à fase de exploração da imagem, englobou duas etapas: classificação supervisionada e classificação não supervisionada. A



Para cada classe deveria obter-se no mínimo uma amostra (em *pixels*) correspondente a **X**, válidas para as partes restantes da imagem, com base na finalidade do projecto. Neste sentido foi estabelecido que no mínimo deveriam ser digitalizadas cerca de 10 parcelas de teste para cada classe, tendo sido criados 7 ficheiros vectoriais com os respectivos *ID's* das classes correspondentes indicadas na Figura 15.

Figura 15: Classes temáticas.

maxver_pos / Mosaico



a) Paleta de cores

CLASSES	NOMENCLATURA
Água	A
Áreas Artificializadas	AA
Áreas Agrícolas e Pastagens	AAP
Coberto herbáceo e arbustivo	CHA
Vegetação Arbustiva	VA
Floresta	F
Solo Exposto	SE

b) Classes e sua nomenclatura

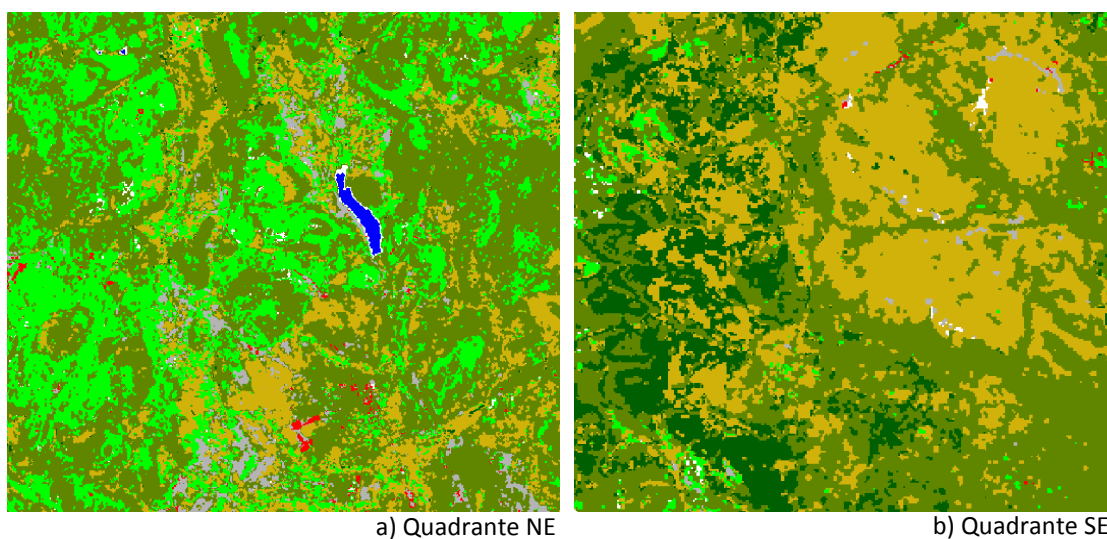
A aquisição das regiões de teste teve em consideração a assinatura espectral, de maneira a que os *pixels* que apresentam valores espectrais semelhantes fossem agrupados às classes espectralmente similares e, assim, não haver muito afastamento espectral entre regiões de teste.

Para tal, foi utilizado o algoritmo de classificação Máxima Verosimilhança – *Maximum likelihood* (classificação a nível do *pixel*), uma vez que o objectivo final era obter um

mapa de distribuição espacial de padrões (resultado do processo de reconhecimento espacial de padrões), neste caso, uma carta-imagem de ocupação do solo. Deste modo, deve-se ter um número bastante representativo de áreas de teste (treinamento), para que o classificador possa desenvolver as informações relativas as classes. Definiu-se um limiar de aceitação de 99% excluindo-se 1%, tendo em consideração que alguns *pixels* podem ser adicionados indevidamente na aquisição (probabilidade) e, assim, não classificar todos os *pixels* da imagem.

A etapa de validação da classificação final, mais satisfatória sobre a região de estudo, foi realizada a partir de cinco testes de classificação. Analisados os resultados obtidos (tabelas paramétricas), isto é, análise estatística das amostras de treinamento, obteve-se como melhor resultado a *CLASSIF_MAXVER_5*. Os seus resultados afiguraram-se satisfatórios considerando representativos da realidade da área de estudo.

Figura 16: Classificação Supervisionada.

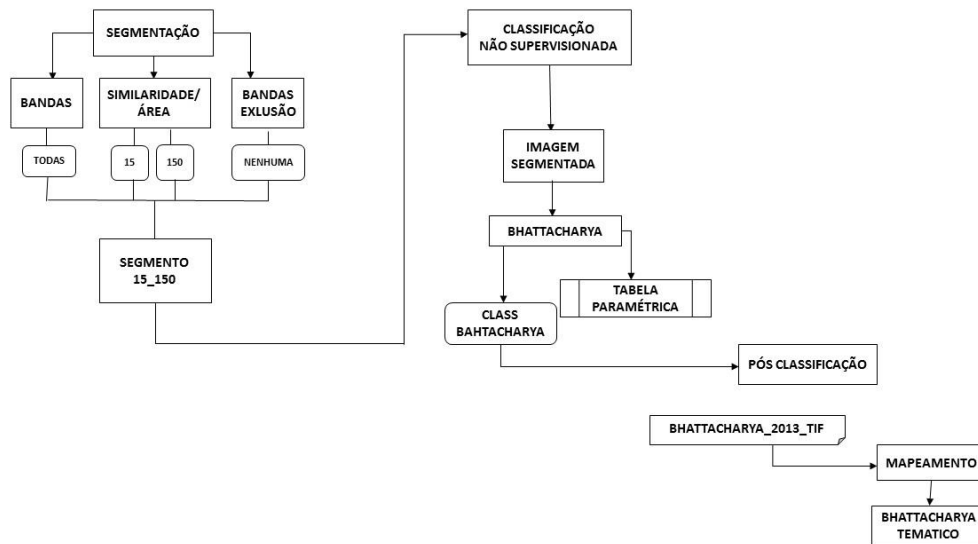


Seguidamente realizou-se um processo de pós classificação dirigido para a correcção e redução de algum “ruído” na classificação. Para o efeito, seleccionou-se os valores de peso/limiar inerentes à sua execução (2/5 predefinidos pelo classificador). A criação e análise da matriz de confusão permitiu extrair a exactidão global da classificação (*accuracy*) e o Índice *Kappa* (K).

O produto final resultante foi posteriormente integrado em ambiente SIG por forma a produzir a cartografia temática com integração da legenda final de acordo com os critérios definidos para cada classe de ocupação do solo.

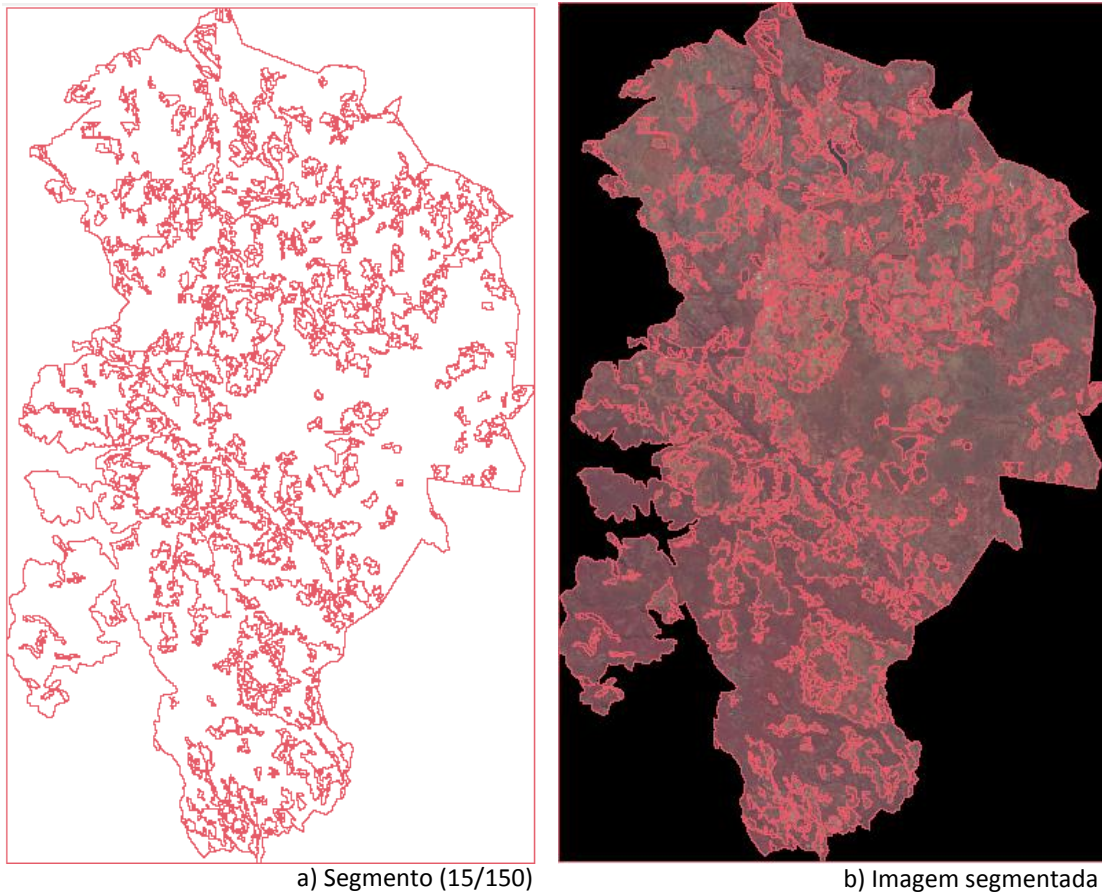
No seguimento dos procedimentos metodológicos gerais passámos à fase de obtenção da classificação não supervisionada. A classificação não supervisionada representada na Figura 17 foi gerada de forma automática.

Figura 17: Classificação Não Supervisionada.



Primeiramente procedeu-se ao processo de segmentação da imagem. Este processo consistiu na preparação da imagem. Neste tipo de classificação a recolha das áreas de teste é realizada de forma automática, logo, o sucesso da operação está essencialmente associado aos valores utilizados no processo de segmentação. Para tal, foram definidos *a priori* vários valores correspondentes a similaridade/área (10/100, 15/100, 20/100, 25/100, 30/100; 10/150, 15/150 20/150, 25/150, 30/150). Testados e analisados os resultados para cada par de valores utilizado, definiu-se os valores de segmento (15/150) que melhor discriminavam a ocupação das classes temáticas na área de estudo. Deste modo, este par de valores foi utilizado na operação de classificação (Figura 18).

Figura 18: Segmentação.



A escolha do classificador recaiu sobre o Bhattacharya (classificação orientada por regiões) e a imagem segmentada (segmento 15/150). Nesta classificação, à semelhança da classificação Máxima Verossimilhança, foi utilizado um limiar de 99%. O resultado da classificação por regiões (*Classif_Bhattacha*) foi submetido igualmente a um processo de pós classificação. À semelhança da anterior, procedeu-se ao mapeamento da classificação em ambiente SIG com vista à representação cartográfica por quadrante (Figura 19).

Figura 19: Classificação Não Supervisionada a) Quadrante NE; b) Quadrante SE.

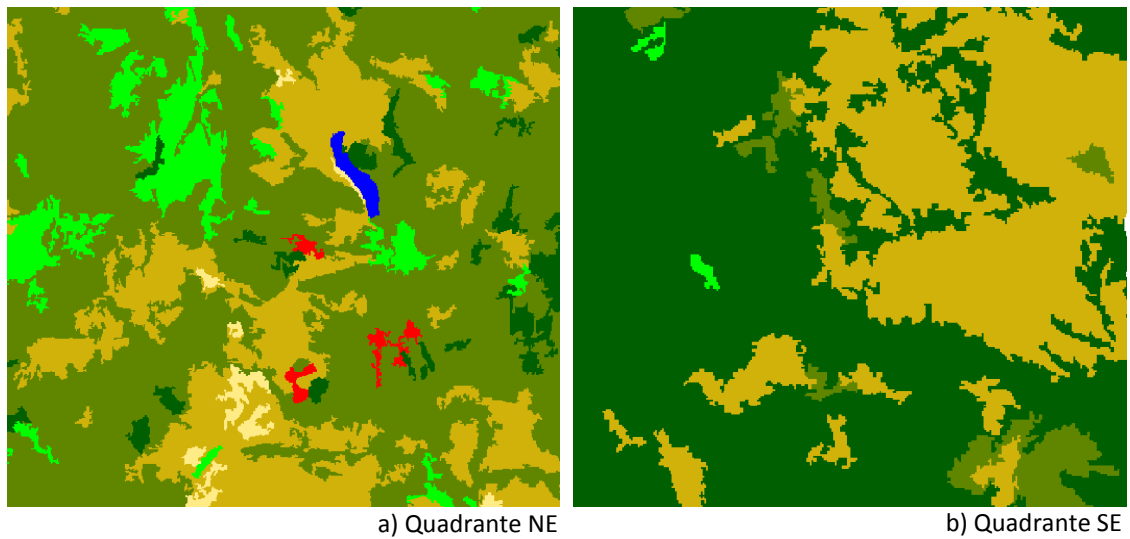
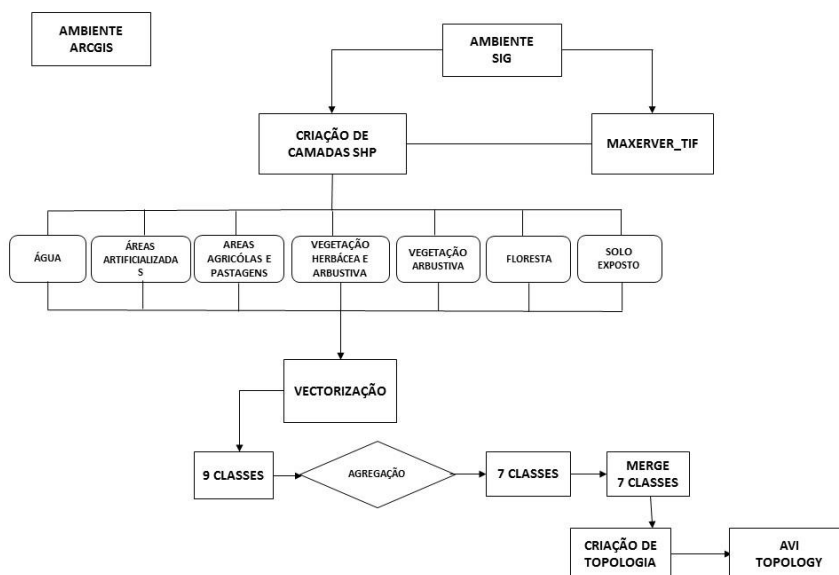


Figura 20: Análise visual de imagem.



A etapa seguinte, realizada em ambiente *ArcGIS 10*, englobou a criação de uma *Geodatabase* (vectorial) cuja estrutura de dados é composta por temas correspondentes às classes de ocupação do solo.

O primeiro passo integrou a definição do sistema de coordenadas a utilizar nos dados (sistema *UTM – WGS1984*, Zona 33 S, correspondendo a região de Angola).

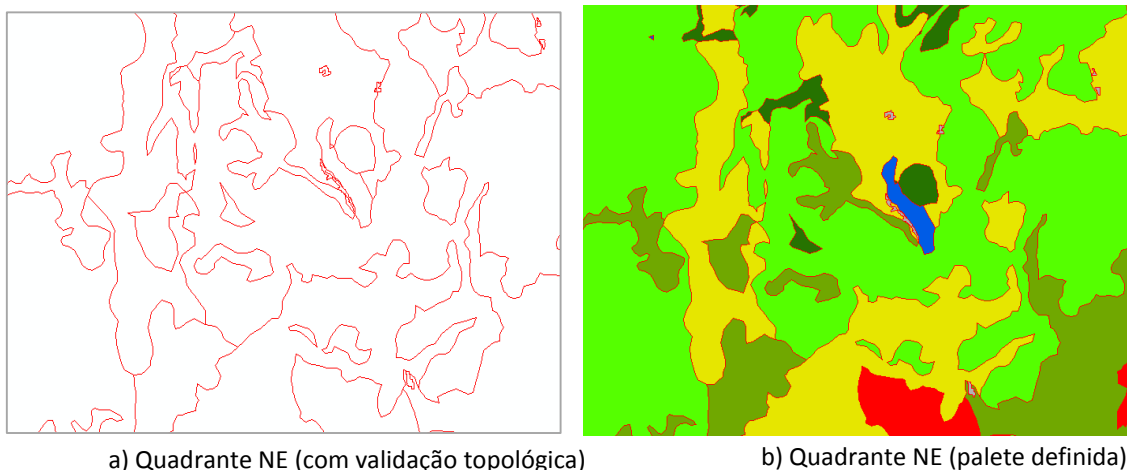
O objectivo desta fase correspondeu no reconhecimento visual das classes de ocupação do solo identificadas na classificação da FAO (LCCS), para a criação das classes temáticas finais. Assim sendo, foram criados nove temas correspondentes às

classes de ocupação do solo, sujeitos a posterior processo de generalização por agregação, obtendo-se como resultado sete classes de ocupação de solo (definidas para a carta-imagem).

Os procedimentos de AVI iniciaram-se com a edição manual (vectorização) das classes uma a uma. Neste processo foi indispensável a interpretação da imagem com recurso a informação auxiliar (*Google Earth*, fotografias e conhecimento de terreno). Terminada a edição das classes, procedeu-se à criação de um ficheiro único em formato shapefile (função de análise espacial *merge*) contendo todas as classes definidas (sete classes).

A fase seguinte consistiu na criação e validação topológica. A aplicação de regras topológicas em ambiente SIG permitiu assegurar a integridade geométrica dos objectos integrados nas respectivas classes. Foi necessário aplicar uma estratégia de correcção topológica de forma a conseguir eliminar os erros existentes. Neste sentido, procedeu-se à verificação dos erros de sobreposição entre polígonos e de existência de “áreas vazias”, com base em duas regras fundamentais *Must Not Overlap* e *Must Not Have Gaps*. Estas regras garantem que não haja sobreposição no interior dos polígonos (definindo a fronteira entre as classes), nem que haja áreas vazias dentro de um único polígono ou entre polígonos adjacentes. Todos os polígonos devem formar uma superfície contínua. Ao definir estas regras, os erros correspondentes às regras violadas foram identificados e, posteriormente, corrigidos com recurso a uma ferramenta essencial de topologia (*Inspector Error*) vocacionado para a correcção de todo o tipo de erros encontrados.

Figura 21: Análise visual de imagem





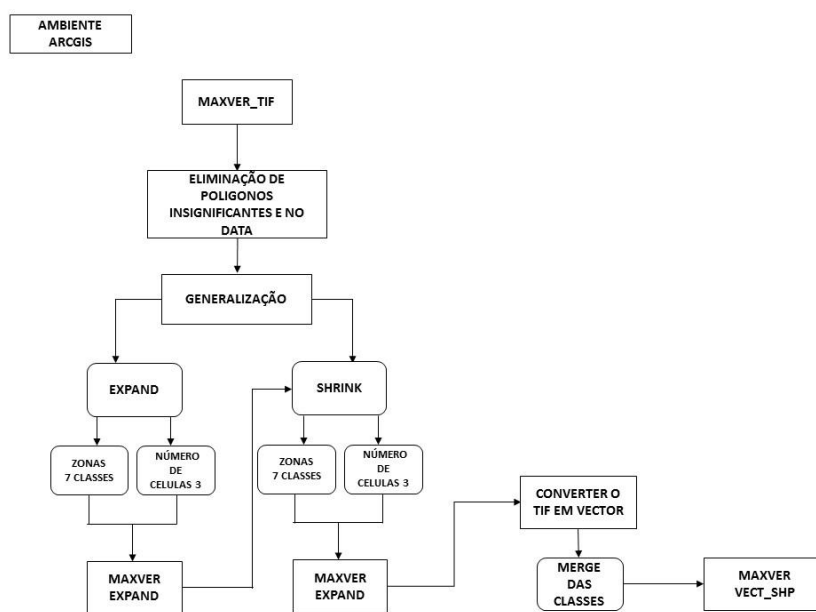
c) Quadrante SE (com validação topológica)



d) Quadrante SE (paleta definida)

Após a correção de todos os erros, o passo seguinte prendeu-se com a atribuição de cor adequada a cada classe para elaboração da legenda final.

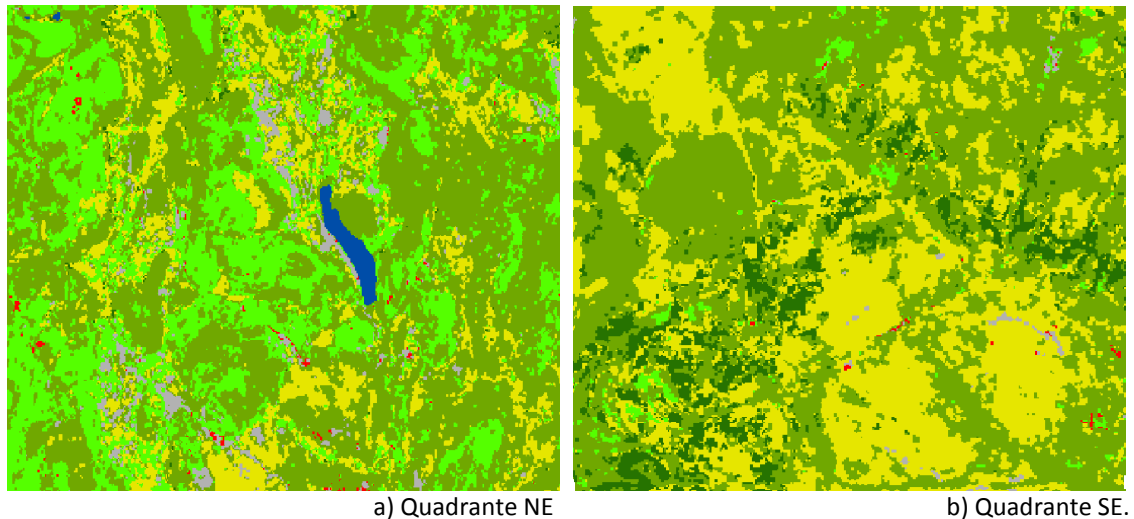
Figura 22: Síntese das etapas operacionais em ambiente SIG



Esta fase é caracterizada pela importação em ambiente SIG (software *ArcGIS 10*) do ficheiro resultante do processamento digital de imagem (PDI) – *CLASSIF_MAXVER.tif*. Começou-se por proceder à eliminação de polígonos insignificantes e aqueles não classificados (*No Data*), utilizando algumas regras de “generalização” nomeadamente com base em operações de análise espacial. Deste modo, foram aplicadas duas operações fundamentais de análise espacial: *Expand* e *Shrink*. Primeiramente foi utilizada a ferramenta *Expand* (expandir), tendo em conta as sete classes temáticas (*zones*) e um número de três células (*number of cell*). Ao resultado do processo de

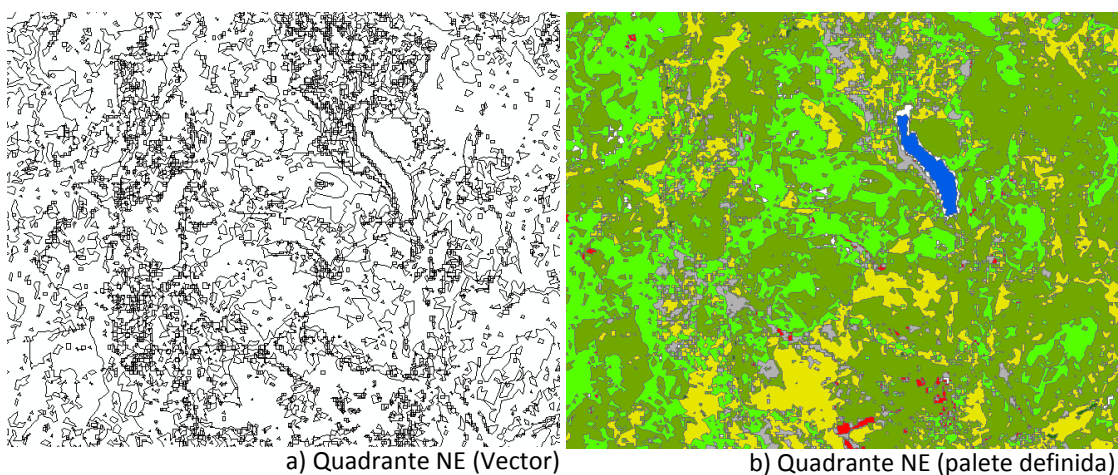
Expand (*Maxver_Expand*) foi aplicada a ferramenta *Shrink* (retrair) tendo em consideração os parâmetros utilizados no processo de *Expand*. O uso desta ferramenta visou reduzir algum “ruído” existente na região classificada. O resultado dos processos (*Expand/Shrink*) foi tido como classificação final.

Figura 23: Classificação Supervisionada (Corrigida).



Seguidamente procedeu-se à conversão da *CLASSIF_MAXVER.tif* (corrigida) em formato *raster* para vectorial – ficheiro resultante *MAXVER_VECT.shp*.

Figura 24: Classificação Supervisionada (Convertida shp.).



No final destes procedimentos, procedeu-se ao cálculo das áreas em hectares (ha) para cada classe, a partir dos resultados obtidos (*MAXVER_VECT.shp* e *CLASS_AVI.shp*). Este cálculo permitiu, assim, determinar a percentagem de ocupação do solo de cada classe temática para cada uma das classificações possibilitando, assim, uma abordagem

comparada por quantificação da diferença percentual existente entre as duas classificações (classe a classe).

III.2.3. Algoritmo de Classificação

No último século numerosas abordagens matemáticas têm sido desenvolvidas para reconhecimento do padrão espectral de imagens. Estas apresentam como objectivo a melhoria no processo de classificação de imagens satélite. Os algoritmos de classificação de imagens têm como objectivo atribuir de um modo automático a cada *pixel* da imagem uma classe de ocupação do solo (Lillesand *et al.*, 2008:551).

Assim sendo, os algoritmos de classificações (classificadores) podem dividir-se em dois tipos: paramétricos e não paramétricos.

Como referido acima, neste trabalho foram utilizados algoritmos de classificação do tipo supervisionado (assistido) e não supervisionada (não assistido). A classificação supervisionada cingiu-se à classificação ao nível do *pixel* (*pixel – pixel*), já a não supervisionada, centrou-se na classificação por regiões. Considerando os algoritmos paramétricos a classificação supervisionada é a técnica mais usada. Sendo útil na análise quantitativa dos dados de imagem em detecção remota (Richards, 2013:247).

Neste contexto, o treinamento refere-se à estimativa dos parâmetros que os classificadores necessitam para serem capazes de reconhecer e classificar *pixels* invisíveis. As legendas representam as classes que o utilizador necessita identificar no mapa (Richards, 2013:248).

Na classificação supervisionada (assistida), regra geral indica-se o algoritmo e as classes de ocupação a identificar. Para o efeito, fornece-se amostras específicas de cada uma dessas classes (amostras de treino). Numa primeira fase (treinamento), o algoritmo identifica a assinatura espectral de cada uma das classes, ou seja, qual o padrão espectral que melhor a identifica e discrimina face às restantes. Posteriormente, numa segunda fase (classificação), o algoritmo analisa todos os *pixels* da imagem e atribui a cada um deles a classe de ocupação correspondente à classe espectral com a qual o *pixel* em questão mais se assemelha. No caso de não houver nenhuma classe espectral suficientemente semelhante à do *pixel* em questão então

não lhe é atribuída qualquer classe sendo apresentada como classe desconhecida (*no data*).

Portanto, os classificadores supervisionados mais comuns existentes nos vários *softwares* de detecção remota são os classificadores paramétricos (mínima distância - *minimum distance*, paralelepípedo – *parallelepiped* e máxima verosimilhança - *maximum likelihood*). Estes são comumente utilizados e facilmente aplicados. Como sugere Costa (2008), “a comprovação estatística e a longa experiência na sua aplicação, torna-os muito utilizados em classificação de dados de detecção remota (Costa, 2008:31).

De entre os classificadores paramétricos disponíveis em *softwares* o classificador de máxima verosimilhança (*maximum likelihood*) é definitivamente o mais usado e um dos mais exactos (Richards, 2013; Lillesand *et al.*, 2008).

O classificador da máxima verosimilhança (*pixel – pixel*) é um classificador que calcula a probabilidade das entidades a classificar pertencerem às classes presentes na fase de treino. Matematicamente o classificador pode ser expresso pela fórmula seguinte:

$$Pc = [-0,5 \log_e(Det(V_c))] - [0,5(X - M_c)^T(V_c)^{-1}(X - M_c)]$$

Adaptado de: ENPE/SPRING

em que:

Pc = probabilidade de o vector X ser assinalado;

V_c = matriz de covariância da classe c contemplando todas as bandas (K, \dots, L);

$Det(V_c)$ = determinante da matriz de covariância V_c

X = vector das medidas dos *pixels* desconhecidos;

M_c = vector das médias para cada classe c ;

T = matriz transposta.

Em suma, o classificador avalia quantitativamente tanto a variância e covariância dos padrões de resposta espectral da categoria ao classificar e de *pixels* desconhecidos. Por isso, uma das hipóteses a considerar é assumir uma distribuição da nuvem de pontos formando dados de treinamento que assumam uma categoria Gaussiana (normalmente distribuída) (Lillesand *et al.*, 2008:554).

III.2.3.1. Classificação por regiões

Segundo Moreira (2007:292) “os classificadores por região procuram simular o comportamento de um fotointérprete ao reconhecer áreas homogêneas nos dados orbitais, baseados nas propriedades espectrais e espaciais dessas áreas na imagem”. Normalmente como critério de decisão, utilizam a informação espectral de cada *pixel* da imagem e a informação espacial que envolve a relação entre o *pixel* e seus vizinhos.

Com base nos aspectos supramencionados a classificação por regiões divide-se em várias fases, nomeadamente: segmentação, extração das regiões, classificação e mapeamento.

A segmentação de imagem é um procedimento adoptado antes da fase de classificação. Com este procedimento, a imagem é dividida em regiões espectralmente homogêneas, em que algumas dessas áreas são utilizadas como treinamento do classificador. Os métodos utilizados para dividir a imagem em regiões espectralmente homogêneas (no *Spring*) são de dois tipos: (i) crescimento por regiões e (ii) detecção de bacias.

A segmentação por crescimento por regiões é uma técnica em que somente as regiões espacialmente adjacentes são agrupadas, segundo um critério de similaridade (INPE, 2000).

No início do processo de segmentação a região pode ser um *pixel* ou mesmo um conjunto de *pixels*. Para cada região o utilizador calcula os seguintes atributos espectrais (média, variância e textura). A agregação das regiões é feita segundo os critérios de similaridade de área que são fornecidos pelo usuário.

Para Moreira (2007:293) “o valor de similaridade corresponde ao valor mínimo abaixo do qual as classes são consideradas similares e agrupadas em uma única região, enquanto o limiar de área define o número mínimo expresso por uma matriz de N polígonos”.

Na etapa de extração de regiões são extraídos alguns parâmetros do polígono, nomeadamente: posicionamento, média de níveis de cinza, matriz de covariância para serem utilizadas na classificação.

A classificação por regiões consiste em identificar e classificar numa mesma classe, os polígonos que apresentam a mesma similaridade de níveis de cinza.

No *software SPRING* são disponibilizados dois classificadores para realizar a classificação: o de *Bhattacharya* e o *Isoseg*.

O classificador de *Bhattacharya*, aplicado neste caso, utiliza as amostras de treinamento para estimar a função densidade de probabilidade das classes apontadas no treinamento (Moreira, 2007:294).

Posteriormente avalia, em cada região, a distância de *Bhattacharya* entre as classes. A classe que apresentar a menor distância é atribuída à região avaliada.

Matematicamente o classificador de *Bhattacharya* é expresso pela fórmula:

$$B(p_i, p_j) = \frac{1}{2} (m_1 - m_2)^T \sum (m_i - m_j) + \frac{1}{2} \ln \frac{|\sum (m_i - m_j)|}{|\sum i|^{1/2} |\sum j|^{1/2}}$$

Adaptado de: ENPE/SPRING

em que:

B é distância de Bhattacharya;

p_i e p_j , são os *pixels* nas classes i e j ;

m_i é a média da classe i ;

m_j , a média da classe j ;

T , a matriz transposta;

\ln , o logaritmo neperiano;

e i e j , as classes dentro do contexto.

Portanto, na classificação supervisionada e não supervisionada os procedimentos de análise dos *pixels* baseiam-se simplesmente nos seus atributos espectrais. A par disto, no caso da classificação supervisionada, o treinamento é muito subjectivo na medida em que é realizado segundo um critério estabelecido pelo analista.

III.2.4. Treinamento

Considerando que a classificação de imagens satélite (multiespectral) é um processo automático, a reunião dos dados de treinamento (amostras de teste) necessários para a classificação não se apresenta como uma tarefa totalmente automática. Segundo Lillesand *et al.* (2008:557) “o esforço aplicado na fase de recolha das amostras de teste em classificação supervisionada é uma arte e uma ciência”. E portanto, requer uma grande interacção entre o analista e os dados da imagem fornecida. Da mesma forma, são indispensáveis dados de referência bastante substanciais e um conhecimento profundo da área geográfica a que os dados e o estudo se aplicam.

Importante ainda referir que a qualidade no processo de treinamento é determinante para o sucesso da fase de classificação e, por conseguinte, os valores das informações geradas a partir de todo o processo de classificação.

Deste modo, o processo de treinamento tem como objectivo geral gerar um conjunto de estatísticas que descrevam o padrão de resposta espectral para cada tipo de ocupação do solo a ser classificada em uma determinada imagem. Assim, para se produzir resultados aceitáveis de classificação, os dados de treinamento devem ser representativos e completos. Significando, assim, que o analista deve desenvolver estatísticas de treinamento para todas as classes espectrais que constituem cada classe temática discriminadas pelo utilizador (Lillesand, *et al.*, 2008:557).

A aquisição de amostras de treinamento (como referido acima) deve ser bastante representativa para cada classe espectral, com vista a permitir realizar estimativas admissíveis. Logo, no mínimo devem ser recolhidas uma quantidade de amostras se possível nunca inferior a 10 *pixels* por classe espectral.

A identificação das áreas de treinamento e a consequente aquisição das amostras, como referido, corresponde ao processo chave no sucesso da classificação. Deste modo, a identificação das áreas é realizada visualmente, e depende essencialmente da experiência do analista em interpretação de imagens e do conhecimento da área de estudo. Deve-se fazer a escolha de vários campos de treinamento para cada classe, localizados em diferentes regiões da imagem.

Neste trabalho, após a definição das classes temáticas, procedeu-se a definição do número mínimo de *pixels* por classe a serem recolhidos para o treinamento. Assim sendo, foi definido a aquisição do maior número de *pixels* possíveis levando em consideração a representatividade que cada classe temática apresenta na área de estudo. Àquelas classes identificadas como mais representativas as amostras de treinamento foram superiores (200 *pixels*) e as de menor representatividade o número foi mais reduzido (10 *pixels*).

A grande heterogeneidade da paisagem na área de estudo dificultou em grande medida a aquisição de um grande número de amostras, essencialmente para a classe “Áreas Artificializadas” (cf. quadro 7), fazendo com que o número de amostras fosse bastante reduzido em relação às demais classes.

Quadro 7: Número de *pixels* por classe.

Classes	Número de Amostras (<i>pixels</i>)
Água	145
Áreas Artificializadas	15
Áreas Agrícolas e Pastagens	85
Coberto Herbáceo e Arbustivo	92
Vegetação Arbustiva	216
Floresta	221
Solo Exposto	47

Assim sendo, o reduzido número de áreas de teste adquiridas para a classe “Áreas Artificializadas”, possibilitaram ter uma classificação para a classe mais satisfatória.

A análise estatística feita às amostras de treinamento evidenciou o bom desempenho na aquisição das amostras.

III.2.5. Validação

A elaboração da carta de ocupação do solo para o Município de Humpata, constituiu um grande desafio. Para a sua elaboração aplicou-se várias metodologias, nomeadamente a classificação automática, impulsionada pela definição das classes de

ocupação do solo, bem como, a digitalização manual das classes de ocupação identificadas pela análise visual à imagem.

Na acepção de Caetano (2002:4), “a fase final do processo de produção de cartografia de ocupação do solo deve ser a avaliação da qualidade dos mapas finais, por forma a atribuir-lhes um índice de fiabilidade”. Neste contexto, a carta produzida mereceu um processo de análise da fiabilidade dos resultados apresentados. Como referem por vários autores, muitos métodos são usados com vista a avaliar a qualidade dos mapas produzidos, mas o método mais comum consiste na comparação dos dados classificados com dados de referência que traduzam a verdade de terreno ou com recurso a visitas de campo ou por interpretação de fotografia aérea de resolução superior.

Assim, o processo de validação final da carta de ocupação do solo desenvolvida teve como base a confrontação dos resultados da classificação automática (classificação assistida) com os da classificação realizada por meio da análise visual de imagem. Este confronto foi realizado mediante o cálculo das áreas (em hectares) para cada classe de ocupação do solo e respectiva análise. O cálculo permitiu, assim, determinar o nível de coincidência existente entre ambas classificações.

De facto, a grande heterogeneidade na paisagem do município a par do coberto vegetal não ser contínuo, implicou a generalização de algumas classes a partir da classificação manual.

Neste sentido, na classificação manual (AVI) – As maiores percentagens de ocupação identificam-se na classe temática Áreas Agrícolas e Pastagens numa área de 44281,48 hectares, correspondendo a 35,8%, seguida pela classe temática Vegetação Arbustiva com uma área de 31451,17 hectares, numa percentagem de 25,4%. O Coberto Herbáceo e Arbustivo ocupa uma área de 26994,28 hectares com 21,8% de ocupação, e a classe temática Floresta abarca uma área de 19390,90 hectares, perfazendo 15,7%.

As classes de menor percentagem ocupacional são nomeadamente as Áreas Artificializadas ocupando uma área de 1563,68 hectares, compreendendo a 1,3%. As classes temáticas Água e Solo Exposto, com uma percentagem de 0,1%, ocupando uma área de 112,13 hectares e 68,59 hectares respectivamente.

Já para a classificação automática (MAXVER) – a classe temática Vegetação Arbustiva ocupa uma área de 77792,73 hectares correspondendo a 62,8%, as Áreas Agrícolas e Pastagens com uma área de 24311,32 hectares, perfaz 19,6% e a classe Coberto Herbáceo e Arbustivo ocupando uma área de 12864,05 correspondendo a 10,4% compreendem as classes com maior percentagem ocupacional.

As menores percentagens de ocupação verifica-se na classe temática Floresta, ocupando 6357,80 hectares de área, a que correspondem 5,1% de ocupação. O Solo Exposto abrange uma área de 2258,87, que corresponde a 1,8% de ocupação, as Áreas Artificializadas com 314,54 hectares perfaz 0,3%. A classe Água ocupa a menor área com 85,28 hectares, correspondendo a 0,1%.

Para efeitos de comparação, procedeu-se à quantificação da diferença percentual existente entre ambas classificações e que desenvolvemos no capítulo seguinte (cf. Capítulo IV).

Baseando-se nos resultados apresentados por cada classificação, a validação permitiu assim retirar ilações bastante satisfatórias no que respeita a identificação e localização das classes de ocupação do solo definidas. Do mesmo modo, foi possível por este meio identificar a grande heterogeneidade predominante no coberto vegetal do município e identificado inicialmente na caracterização da área de estudo.

Em suma, os valores de ocupação apresentados na classificação automática revelaram alguma proximidade aos discriminados pela classificação manual. Esta proximidade foi no entanto um indicador bastante relevante para validar os resultados obtidos na classificação final.

CAPITULO IV: RESULTADOS E DISCUSSÃO

IV.1. Descrição dos resultados

A Carta de Ocupação do Solo produzida (Figura 27) constitui um produto com qualidade razoável, tendo em consideração os objectivos propostos e os resultados por ela apresentada. Esta qualidade está voltada a precisão temática pretendida, visto que, aproxima-se a realidade da área de estudo.

Com vista a se averiguar a área de ocupação das classes apresentadas na carta de ocupação do solo, procedeu-se ao cálculo da área (em hectares) ocupada por cada classe classificada. Os resultados apresentaram uma distribuição bastante desigual, com classes a ocuparem extensas áreas no território em detrimento de outras. Os resultados do cálculo das áreas de ocupação para a classificação automática podem ser verificados no quadro 8, que se segue:

Quadro 8: Classificação Automática (MAXVER).

Classes	Perímetro	Área (ha)	Peso %
Água	7736,093204	85,28	0,1
Áreas Agrícolas e Pastagens	5473643,464	24311,32	19,6
Áreas Artificializadas	218480,3786	314,54	0,3
Coberto Herbáceo e Arbustivo	3586200,396	12864,05	10,4
Floresta	1582461,55	6357,80	5,1
Solo Exposto	894877,2716	2258,87	1,8
Vegetação Arbustiva	8367495,574	77792,73	62,8
TOTAL		123899,30	100,0

A fase de Validação da Carta foi uma etapa considerada fundamental na medida em que, por meio dos procedimentos aplicados para validar conseguiu-se identificar os pontos fortes e fracos existentes na realização da classificação.

Estes pontos foram confrontados com a classificação manual (Figura 25), desenvolvida com auxílio de fontes auxiliares, facilitando assim a validação da Carta de Ocupação produzida. Assim, calculou-se a percentagem de ocupação das classes temáticas, permitindo a confrontação da área ocupada por cada uma das classes, como apresentado no quadro 9, abaixo indicado:

Quadro 9: Classificação manual (AVI).

Classes	Perímetro	Área (ha)	Peso %
Água	7293,218198	112,13	0,1
Áreas Agrícolas e Pastagens	588054,7859	44281,48	35,8
Áreas Artificializadas	42012,81832	1563,68	1,3
Coberto Herbáceo e Arbustivo	463274,7915	26994,28	21,8
Floresta	315340,2056	19390,90	15,7
Solo Exposto	19349,19535	68,59	0,1
Vegetação Arbustiva	476101,6248	31451,17	25,4
TOTAL		123862,23	100,0

Estes resultados permitiram apurar a área e percentagem ocupada por classe temática e, assim, quantificar a diferença percentual entre as duas classificações como exposto no quadro 10.

Quadro 10: Cálculo da diferença percentual entre as classes.

Código	Classes de uso/ocupação do solo	% AVI	% Maxver	Δ AVI - Maxver (%)
1	Água	0,1	0,1	0,0
2	Áreas Agrícolas e Pastagens	35,8	19,6	16,1
3	Áreas Artificializadas	1,3	0,3	1,0
4	Coberto Herbáceo e Arbustivo	21,8	10,4	11,4
5	Floresta	15,7	5,1	10,5
6	Vegetação Arbustiva	25,4	62,7	-37,4
7	Solo Exposto	0,1	1,8	-1,8

As diferenças que ocorrem nos valores percentuais entre as classes de ocupação do solo das duas imagens classificadas vão de encontro ao expectável numa abordagem desta natureza, ainda assim, saliente-se que em termos de Exactidão (Produtor e Utilizador) apresentou resultados bastante satisfatórios. De referir que a mesma teve um desempenho Geral (Exactidão Global) de 92,67% e um Índice Kappa de 0,9 considerado de satisfatório.¹⁷

¹⁷ Importa aqui referir que a precisão do utilizador e produtor acima apresentadas referem-se aos resultados apresentados pelo Software (isto resultante do cálculo das amostras de treinamento), onde

Assim sendo, após o cumprimento dos procedimentos para o melhoramento da classificação e eliminação de *pixels* não classificados (como apresentado na Figura 22) obteve-se uma carta de ocupação do solo com qualidade desejada como apresentado na Figura 27.

Em termos de ocupação do solo os seus resultados mostram a existência de classes em que a ocupação (em hectares) é bastante reduzida em relação a outras. Aqui ressalta-se por exemplo que a classe Água apresenta uma percentagem de ocupação mais baixa e, em contraste, verifica-se que o valor percentual da área ocupada pela classe temática Vegetação Arbustiva é relativamente maior em relação às demais.

A Carta de ocupação do solo produzida mostra a grande heterogeneidade existente em Humpata, onde são discriminadas todas as classes de ocupação do solo definidas. De notar que a existência de um coberto vegetal bastante heterogéneo na área de estudo, possibilita a identificação de grandes mosaicos na paisagem do município.

Ressalte-se ainda a não representação de algumas classes de ocupação do solo, dominantes na área de estudo. Exemplo disso é a classe temática Zonas Húmidas que ocupa uma extensa área em Humpata, não estando individualizada como classe. O facto da sua não representação prende-se com a data da imagem que é relativa ao tempo seco. Por outro lado, o ritmo fisionómico da paisagem na região é algo irregular e complexo, com tempos de aparecimento e desaparecimento de fenómenos submetidos à variação anual muito diverso de região para região.

Estes aspectos foram identificados aquando da definição das classes de ocupação, fazendo com que justificasse os procedimentos inerentes ao processo de generalização de algumas classes.

também podemos verificar os resultados respeitantes ao Desempenho Geral da Classificação e o Índice *Kappa* da mesma (Confrontar Anexos).

Figura 25: Classificação manual (AVI)

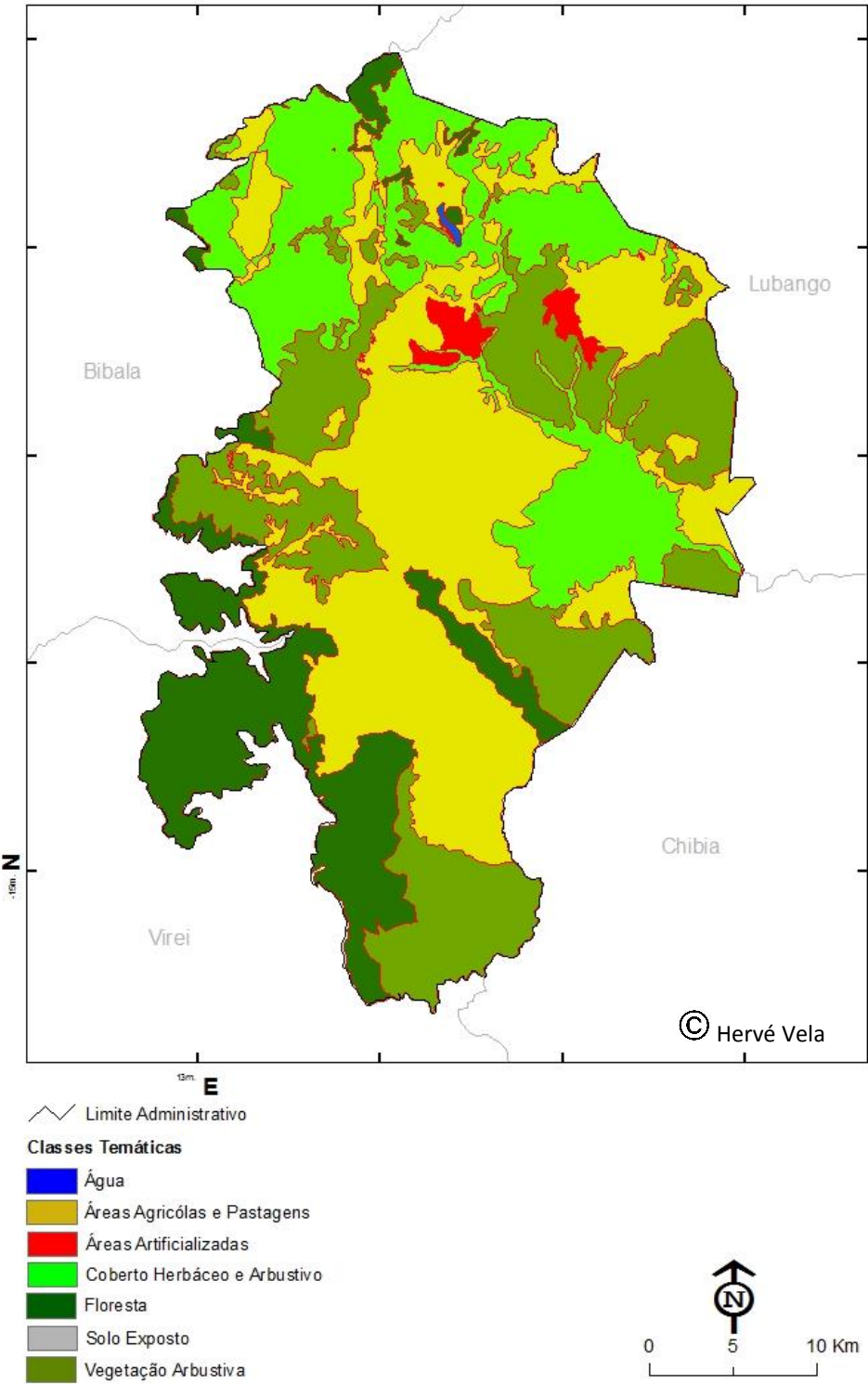


Figura 26: Classificação Automática (Maxver).

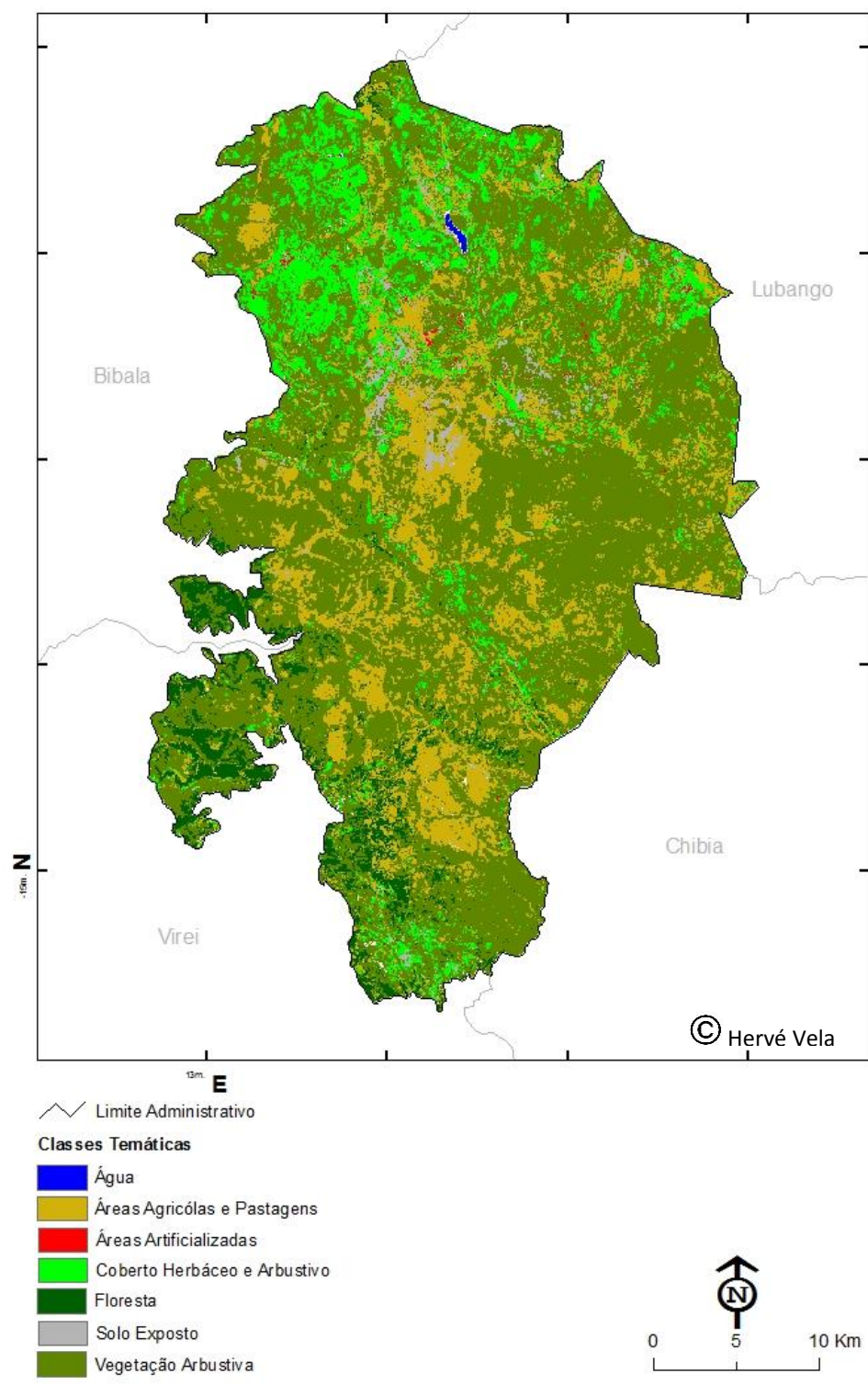
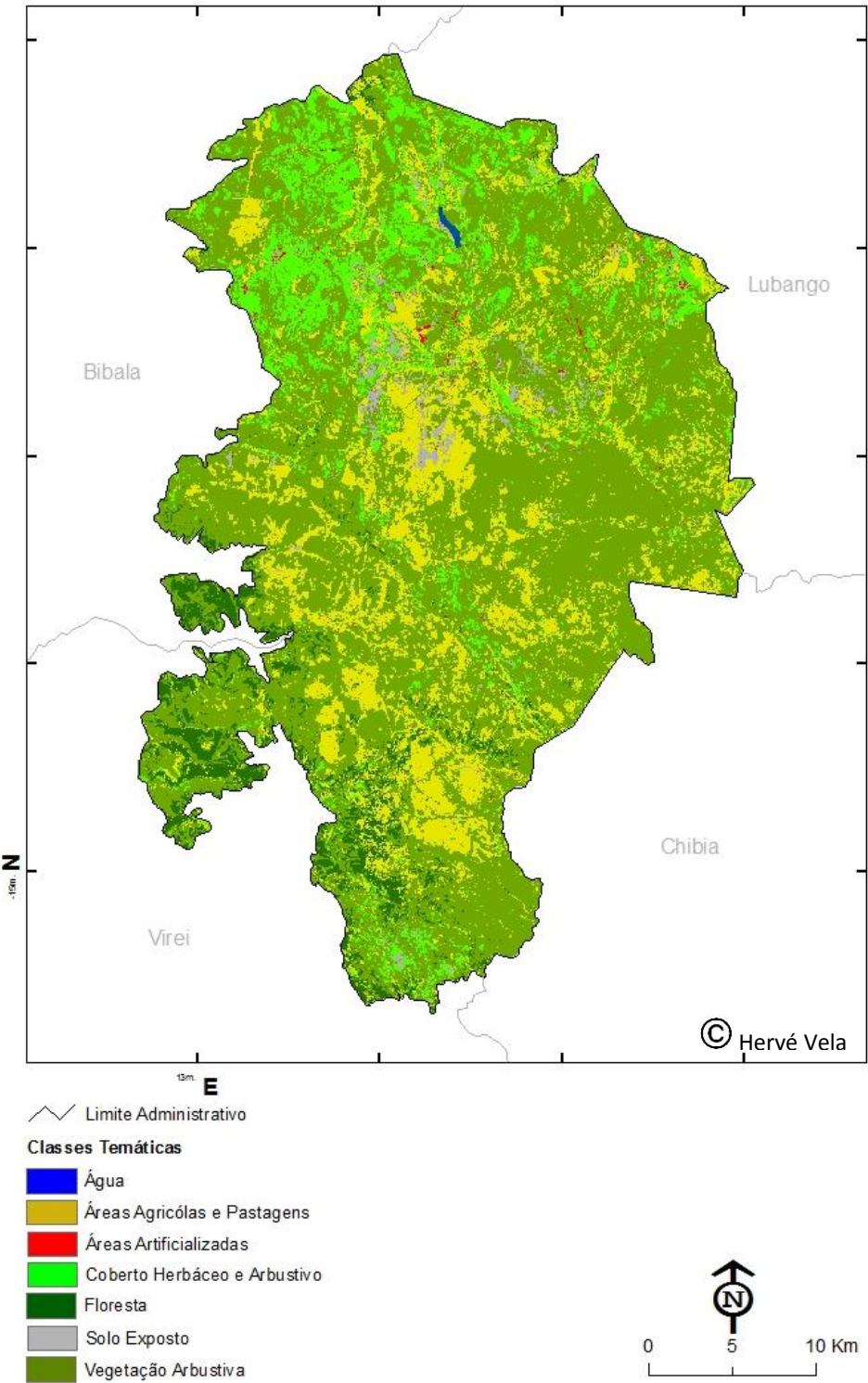


Figura 27: Cartografia de Ocupação do Solo.



CONCLUSÃO

O planeamento e a gestão do território assumem-se como elementos fundamentais para o equilíbrio, progresso e sustentabilidade ambiental de um determinado território. Para este fim, considera-se indispensável a caracterização da ocupação do solo através de cartografia actualizada e detalhada. A produção desta cartografia temática com recurso a detecção remota e processamento digital de imagens de satélite é um processo que oferece inúmeras vantagens, na qual pode-se ressaltar a consistência dos resultados e a periodicidade com que é apresentada.

O trabalho efectuado permitiu comprovar que é indiscutível a clara vantagem da utilização de imagens de satélite provenientes de sensores de alta resolução espacial na caracterização da ocupação do solo e a riqueza espacial que este tipo de imagens apresenta. Contudo, a elas associaram-se outros factores como limitações espectrais, limitações dos classificadores existentes e o próprio conhecimento da vasta área de estudo como aspectos que levaram a enfrentar grandes problemas na correcta classificação da ocupação do solo de Humpata.

Estes obstáculos firmaram-se prontamente na dificuldade de identificação e definição das classes temáticas, bem como, em escolher as parcelas de treino suficientemente caracterizantes e discriminantes de uma determinada classe temática, devido, a aspectos como a semelhança espectral de determinadas classes temáticas.

Na preparação do projecto, procurou-se explorar os classificadores supervisionados e não supervisionados, isto é, orientado por regiões. Assim sendo, foram usados o algoritmo da Máxima Verossimilhança e o de Bhattacharya. Esta exploração visou definir a classificação que melhor discriminasse a ocupação do solo no município de Humpata.

Os resultados da abordagem exploratória demonstraram que o algoritmo da Máxima Verossimilhança em detrimento do Bhattacharya apresentava melhores resultados, ressaltando a grande heterogeneidade na ocupação do solo existente em Humpata. No entanto, no primeiro teste efectuado determinadas classes temáticas apresentavam alguma confusão espectral, como por exemplo, a classe temática “zona artificializada”. Esta preocupação impulsionou a realização de mais testes, com vista, a se obter uma

classificação com uma qualidade desejável e que melhor discriminasse a classe em apreço. Neste sentido, houve a necessidade de se efectuar uma melhor recolha das áreas de treinamento para a zona e, conseqüente, diminuição de áreas de teste.

Comparando os testes realizados concluiu-se que a diminuição das áreas de treino garantiu uma relativa melhoria na exatidão da classificação e discriminação da classe temática em função da realidade da área de estudo.

A metodologia utilizada comportou ainda validação dos resultados mediante a comparação dos resultados apresentados pela classificação resultante da análise visual da imagem com os resultados da classificação ao nível do *pixel*. Esta abordagem comparada revelou relativa proximidade na área de ocupação de cada classe temática, o que veio garantir uma certa fiabilidade nos resultados da classificação.

Neste contexto, podemos referir que a carta de ocupação do solo produzida demonstra alcance dos objectivos preconizados no projecto, evidenciando a qualidade desejável na classificação da ocupação do solo e respectiva distribuição espacial da vegetação em Humpata. A crítica aos resultados obtidos prende-se essencialmente com a metodologia aplicada e o algoritmo de classificação definido influenciando a qualidade que a carta apresenta. Neste contexto, a classificação ao nível do *pixel* mostrou-se bastante eficaz, permitindo aproximar-se aos resultados desejados.

Considera-se, assim, a carta-imagem como um instrumento de grande valia para a análise espacial e gestão eficaz da ocupação do solo no município. De facto, os resultados obtidos revelam-se como um contributo fundamental de suporte em matéria de efectivação dos planos de monitoramento da ocupação do solo, bem como, do eficaz planeamento e gestão do território, vindo assim minimizar as carências em ferramentas de análise espacial no âmbito da administração municipal.

A carta servirá de ferramenta fundamental para vários estudos levados a cabo no município, desde, ambientais e sobretudo para o planeamento dos recursos agrícolas e florestais da região apoiando a tomada de decisão no domínio do ordenamento e administração do território, bem como, na definição de linhas de actuação para a gestão dos recursos naturais.

Assim, a carta de ocupação do solo poderá impulsionar a tomada de decisão consciente quando se pretender identificar espaços com características específicas para a implementação de actividades socio-económicas ou outras medidas de intervenção local.

Como todo o trabalho de investigação está sujeito a dificuldades e insuficiências o presente não fugiu a regra. Neste contexto, apesar da relativa fiabilidade nos resultados finais, a carta apresenta ainda algumas limitações. Estas prenderam-se com a qualidade dos dados e também com questões técnicas. A carta carecia de uma verificação e validação mais rigorosa, usando métodos mais precisos e necessariamente com o recurso ao cálculo da exatidão temática da classificação com vista a garantir uma maior credibilidade dos resultados.

Em suma, face às dificuldades encontradas, algum trabalho ficou por se realizar, o que motiva a sua continuidade em futuros desenvolvimentos. Enquanto projecto embrionário, o mesmo está aberto a enriquecimentos futuros, visando o seu fortalecimento e a garantia de uma maior sustentabilidade aplicada ao município de Humpata.

BIBLIOGRAFIA

Bandeira, P. (2007). Cartografia de ocupação do Solo com Imagens Meris: uma abordagem exploratória com classificação não assistida. Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação – Universidade Nova de Lisboa, Portugal. (Disponível em: <http://run.unl.pt/bitstream/10362/2427/1/TSIG0033.pdf>, acedido em 13.08. 2013)

Bonn, F., Rochon, G. (1993). Précis de Télédétection: Principes et méthodes. Universités Francophones: Quebec/AUPELF, vol. 1, pp. 3 – 20.

Cabral, A., Vasconcelos, M., Oom, D. (2010). Comparing Information derived from Global Land Cover Datasets with Landsat Imagery for the Huambo province and Guinea-Bissau. ISPRS TC VII Symposium – 100 Years, vol. XXXVIII (7B), Viena, Austria, July 5 – 7 de 2010.

Cabral, A. (2007) Cartografia de Coberto do Solo para o Território Angolano utilizando imagens de Satélite. (Disponível em:

<http://www.apdr.pt/siterper/numeros/rper15/15.4.pdf>, acedido em 23.02.2014).

Cabral, A., Vasconcelos, M., Pereira, J., Martins, E., Bartholome, E., & Mayaux, P.. (2006). A land Cover Map of Southern Hemisphere Africa based on SPOT-4 Vegetation data, *International Journal of Remote Sensing*, vol. 27 (6).

Caetano, M., Santos, T., & Gonçalves, L. (2002). Cartografia de Ocupação do Solo com Imagens de Satélite: Estado da arte. Proceedings do ESIG'2002 – VII Encontro de utilizadores de Informação Geográfica, Oeiras [CD-Rom].

Caetano, M., & Mata, F. (2006). Accuracy Assessment of the Portuguese CORINE Land Cover Map; 25th EARSeL Symposium on Global Developments in Environmental Earth Observation from Space, Porto, Portugal, June 6 – 11, 2005. (Disponível em: <http://www.earsel.org/symposia/2005-symposium-Porto/pdf/056.pdf>, acedido em: 02.08.2014).

Chavez, P. (1996). Image-Based Atmospheric Correction-Revisited and Improved. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* V. 62, pp. 1025 – 1036. (Disponível em:

<http://www.unc.edu/courses/2008spring/geog/577/001/www/Chavez96-PERS.pdf>, acessado em: 22.10.2014).

Costa, H. (2008). Estratégia multi-temporal para produção automática de Cartografia de Ocupação do Solo com Imagens AWIFS, Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação – Universidade Nova de Lisboa. (Disponível em: <http://run.unl.pt/bitstream/10362/2347/1/TSIG0049.pdf>, acessado em: 16.08.2013).

Decreto Presidencial nº 2/12 de 9 de Janeiro. Diário da República nº 5 – I Série. Conselho de Ministros. Luanda.

Di Gregório, A. & Jensen, L. (1998). Land Cover Classification System (LCCS): classification, concepts and user manual, Rome: FAO, pp. 1 – 42.

Dinis, C. (1973). Características Mesológicas de Angola, Missão de Inquéritos de Angola, Nova Lisboa.

Dinis, C. (2006). Características Mesológicas de Angola, Descrição e Correlação dos aspectos fisiográficos dos solos e da vegetação das zonas agrícolas de Angola. Lisboa, IPAD, 2ª edição.

Duhamel, C. & Vidal, C. (1999). Objectives, tools and nomenclature. Proceedings of the EUROSTAT Seminar on Land Cover and Land Use Information System for European Union Policy Needs. Luxemburgo, pp. 73 – 78.

Elhadi, A. *et al.* (2014). Land-use/cover classification in a heterogeneous coastal landscape using RapidEye imagery: evaluating the performance of random forest and support vector machines classifiers. *International Journal of Remote Sensing*, V. 35 (10), pp. 3440-3458. (Disponível em:

<http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2014.903435>, acessado em: 30.07.2014).

Encarnação *et al.* (2004). Cartografia de Uso do Solo à escala Regional a análise orientada a Objecto e Segmentação Multiresolução. [CD]. In Actas do V Congresso de Geografia Portuguesa “Portugal: territórios e protagonistas”: Guimarães, 14 – 16 Out. 2004. Disponível em:

http://www.apgeo.pt/files/docs/CD_V_Congresso_APG/web/_pdf/C2_14Out_Sara%20Encarna%20E7%E3o-Tenedorio-Rocha.pdf

EMBRAPA MONITORAMENTO POR SATÉLITE (2013). Satélites de Monitoramento. LANDSAT – Land Remote Sensing Satellite. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite Web site. (Disponível em:

http://www.sat.cnpm.embrapa.br/conteudo/missao_landsat.php, acessado em: 09.04.2014).

EUROSTAT (2000). Manual of concepts on Land Cover and Land Use Information Systems. Luxemburg: office for official publications of the Europeans Comunites, pp. 11 – 21.

Fei, Y. *et al.* (2005). Land cover classification and change analysis of the twin cities (Minnesota) Metropolitan Area by multitemporal Landsat remote sensing. Remote Sensing of Environment, pp. 317-328. (Disponível em:

http://rsl.gis.umn.edu/Documents/TCMA_change_detection--RSE_paper.pdf, acessado em: 07.08.2014).

Feio, M. (1981). Relevo do sudoeste africano “Estudo Geomorfológico”, Junta de Investigações Científicas do Ultramar, Lisboa, pp. 18 – 91.

Foody, G. (2002). Status of Land Cover Classification Accuracy. Remote Sensing of Environment, V. 80 (2002), pp. 185-201.

Fonseca, A., Fernandes, J., (2004) Detecção Remota, Lisboa, Edições LIDEL, pp. 172 – 175.

Giri, C. (2012). Brief overview of remote sensing of land cover. In Chandra P. Giri (ed) Remote Sensing of Land use and land Cover: Principles and Aplications: Overview. 1.^a edição, Boca Raton – Fl: CRS press, pp. 3 – 12. (Disponível em:

http://www.google.pt/books?hl=ptPT&lr=&id=WZkEO9yZxS4C&oi=fnd&pg=PP1&dq=remote+sensing+of+land+use+and+land+cover:principles+and+applications&ots=PubcOcpGBT&sig=fdm6pYBZvhWKNowgl4lZZqChxKw&redir_esc=y#v=onepage&q=remote%20sensing%20of%20land%20use%20and%20land%20cover%3Aprinciples%20and%20applications&f=false, acessado em: 21.09.2014).

INE (2014). Recenseamento Geral da População e Habitação de Angola (RGPH). Resultados Preliminares, Huíla. Instituto Nacional de Estatística. Luanda. Angola, pp. 116 – 120.

Kun, J. (2014). Land cover classification of finer resolution remote sensing data integrating temporal features from time series coarser resolution data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, pp. 49 – 55. (Disponível em:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924271614000914#>, acedido em:

07.08.2014).

Kun, J. (2014). Land cover classification using Landsat 8 Operational Land Image in Beijing, China. *Geocarto International*, pp. 1 – 3. (Disponível em:

<http://dx.doi.org/10.1080/10106049.2014.894586>, acedido em: 30.07.2014).

Lillesand, T., Kiefer W., Chipman J. (2008). *Remote Sensing and Image Interpretation*. Wiley: Sixth Edition, pp. 189 – 323.

Matos, J. (2008). *Fundamentos de Informação Geográfica: Detecção Remota*. (6ª Ed). Lisboa: Edições LIDEL, pp. 219 – 223.

Nunes, V. (2007). *Cartografia de Ocupação do Solo e/ou Uso do Solo para a produção de um mapa de Incerteza Temática*. Dissertação de Mestrado. Instituto Superior de Estatística e gestão de Informação – Universidade Nova de Lisboa. (Disponível em: <http://run.unl.pt/bitstream/10362/2405/1/TSIG0035.pdf>, acedido em: 16.08.2013).

Oliveira, P. (2005). *Caracterização da Ocupação do Solo com recurso à aplicação de Modelos de misturas Espectrais em series Multi-temporais de imagens Modis*. Dissertação de Mestrado. Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação – Universidade Nova de Lisboa. (Disponível em:

<http://run.unl.pt/bitstream/10362/3643/1/TSIG0008.pdf>, acedido em: 16.08.2013).

Peterson, G., (2009). *GIS Cartography A Guide to Effective Map Design*. Taylor & Francis.

Painho, M., Caetano, M. (2006) *Cartografia de Ocupação do Solo Portugal continental/1985-2000 Corine Land cover 2000*. Amadora: Instituto do Ambiente.

Perdigão, V., Annoni, A. (1997). *Technical and Methodological Guide for Updating the CORINE Land Cover database*, JRC: EEA, pp. 3 – 10. (Disponível em:

<http://image2000.jrc.ec.europa.eu/reports/corine-updating.PDF>, acedido em:

19.08.2014).

Sabins, F. (1977). Remote Sensing: principles and interpretation. (1ª Ed.). New York: Remote Sensing Enterprise Inc. pp. 1 – 9.

Santos, A. *et al.* (2014). Sensoriamento Remoto no ArcGIS 10.2.2 Passo a Passo: Processamento de Imagens Orbitais – V. 1, Alegre: CAUFES.

Tollefson, J. (2013). Landsat 8 to the Rescue, NATURE, V. 494. (Disponível em:

http://www.nature.com/polopoly_fs/1.12365!/menu/main/topColumns/topLeftColumn/pdf/494013a.pdf, acessado em: 30.07.2014).

Vanonckelen, S., Lhermitte, S., Balthazar, V., & Van Rompaey, A. (2014). Performance of Atmospheric and Topographic Correction Methods on Landsat Imagery in mountain areas, International Journal of Remote Sensing, V. 35 (13), pp. 4952 – 4972. (Disponível em:

<http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/01431161.2014.933280>, acessado em: 30.07.2014).

GLOSSÁRIO

ARCGIS – Sistema de informação geográfica (SIG) para trabalhar com mapas e informações geográficas. É usado para a criação e utilização de mapas; compilação de dados geográficos; analisar informações mapeadas; compartilhar e descobrir informação geográfica; usando mapas e informações geográficas em uma gama de aplicações; e gestão da informação geográfica em um banco de dados.

IDRISI – Sistema de *software* integrado rico em recursos para a análise e visualização de dados espaciais. O Software inclui ferramentas de SIG, processamento de imagens, análise de superfície, aplicações verticais para análise das mudanças da terra e da terra tendências exploração.

LANDSAT – O Programa Landsat é uma série de missões de satélites de observação da Terra gerido conjuntamente pela *NASA* e pelo *U.S Geological Survey*.

QGIS – Sistema de Informação Geográfica (SIG) de Código Aberto licenciado segundo a Licença Pública Geral GNU. Projecto oficial da *Open Source Geospatial Foundation* (OSGeo).

SPRING – É um SIG (Sistema de Informações Geográficas) no estado-da-arte com funções de processamento de imagens, análise espacial, modelagem numérica de terreno e consulta a bancos de dados espaciais.

ÍNDICE DE FIGURAS

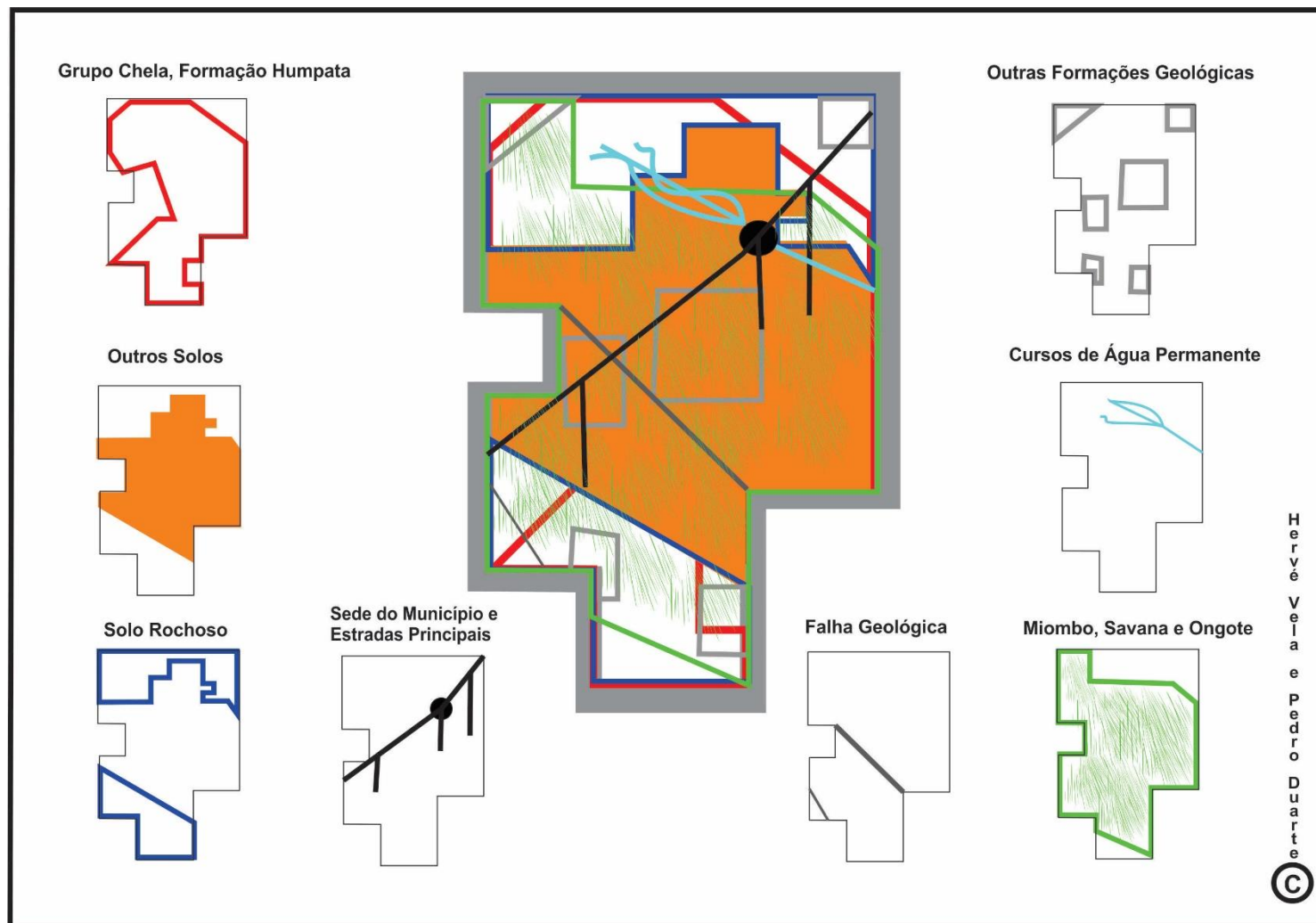
Figura 1: Situação Geográfica do Município.....	7
Figura 2: Mapa Altimétrico.....	8
Figura 3: Mapa Hidrográfico.....	9
Figura 4: Mapa de Vegetação.....	10
Figura 5: Floresta e Vegetação arbustiva na unidade Central.	12
Figura 6: Vegetação Arbustiva e Solo Rochoso na Unidade Periférica Norte.	13
Figura 7: Floresta e Solo Rochoso na unidade periférica Sul.	14
Figura 8: Esquema das estruturas territoriais do Município de Humpata.....	15
Figura 9: Correção Atmosférica/Corte pelos limites do município.	39
Figura 10: Mosaico de imagem	40
Figura 11: Extração da Máscara.....	41
Figura 12: Processamento digital de Imagem.	42
Figura 13: Classificação Supervisionada.	43
Figura 14: Amostras de treinamento a) Quadrante NE; b) Quadrante NW; c) Centro; d) Quadrante SW	43
Figura 15: Classes temáticas.....	44
Figura 16: Classificação Supervisionada.	45
Figura 17: Classificação Não Supervisionada.	46
Figura 18: Segmentação.	47
Figura 19: Classificação Não Supervisionada a) Quadrante NE; b) Quadrante SE.	48
Figura 20: Análise visual de imagem.	48
Figura 21: Análise visual de imagem	49
Figura 22: Síntese das etapas operacionais em ambiente SIG.....	50
Figura 23: Classificação Supervisionada (Corrigida).....	51
Figura 24: Classificação Supervisionada (Convertida shp.).	51
Figura 25: Classificação manual (AVI).....	63
Figura 26: Classificação Automática (Maxver).	64
Figura 27: Cartografia de Ocupação do Solo.....	65

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1: Descrição das classes de ocupação do solo (FAO – LCCS).....	27
Quadro 2: Classes definidas para a vegetação baseadas no LCCS.	29
Quadro 3: Sensores MSS e TM do Satélite Landsat 5.	30
Quadro 4: Sensor ETM+ do satélite Landsat 7.	32
Quadro 5: Especificações do Sensor OLI.	33
Quadro 6: Especificações do Sensor TIRS.....	34
Quadro 7: Número de pixels por classe.	57
Quadro 8: Classificação Automática (MAXVER).	60
Quadro 9: Classificação manual (AVI).	61
Quadro 10: Cálculo da diferença percentual entre as classes.	61

ANEXOS

ANEXO 1: SINTESE DA ESTRUTURA TERRITORIAL DE HUMPATA



ANEXO 2: DESCRIÇÃO DAS CLASSES DE OCUPAÇÃO DO SOLO (FAO – LCCS).

DESIGNAÇÃO DA CLASSE		DESCRIÇÃO
INGLÊS	PORTUGUÊS	
30 - Mosaic Vegetation/Croplands -	30 – Mosaico Pastagem, arbusto, floresta / Cultivo	Referindo-se a paisagem de vegetação nativa ou plantações de alimentação própria ao gado que ocupam grandes espaços, associando-se a um conjunto de árvores de pequeno porte, floresta nativa ou plantação arbórea em que há uma associação com zonas de cultivo ou agrícolas.
50 - Closed broadleaved deciduous forest	50 – Floresta Estacional Decidual Densa	Também chamada Floresta Estacional Caducifolia é um ecossistema do bioma <i>Mata Atlântica</i> . Referindo-se a árvores e arbustos do grupo botânico Angiospermas com exceção do <i>ginkgo</i> (<i>Ginkgo biloba</i>), que é de folhas largas, mas pertencem taxonomicamente a <i>Gymnospermae</i> . Este tipo de vegetação é caracterizada por duas estações climáticas bem demarcadas, uma chuvosa seguida de longo período biologicamente seco. No entanto a vegetação neste tipo apresenta-se mais fechada ou densa.
60 - Open broadleaved deciduous forest	60 – Floresta Estacional Decidual Aberta	Também chamada Floresta Estacional Caducifolia é um ecossistema do bioma Mata Atlântica. Referindo-se a árvores e arbustos do grupo botânico Angiospermas com exceção de <i>ginkgo</i> (<i>Ginkgo biloba</i>), que é de folhas largas, mas pertencem taxonomicamente <i>Gymnospermae</i> . Este tipo de vegetação é caracterizado por duas estações climáticas bem demarcadas, uma chuvosa seguida de longo período biologicamente seco. No entanto a vegetação neste tipo em comparação com a anterior apresenta-se mais espalhada, ou seja, aberta.
100 - Closed to open mixed broadleaved and needleleaved forest	100 – Floresta Aberta e Fechada mista de folhas largas e com forma de agulhas	Referindo-se a uma floresta de árvores e arbustos do grupo botânico <i>Gymnospermae</i> (<i>Ford-Robertson, 1971</i>) que levam as folhas em forma típicas. Note-se que esta categoria inclui todas as plantas em forma de agulha, mesmo que elas não sejam coníferas.
110 - mosaic Forest - Shrubland/Grassland	110 – Mosaico Floresta e vegetação arbustiva / Pastagem	Referindo-se a paisagem de fragmentos florestais nativos e plantações arbóreas de grande porte. Encontrando-se associados a espaços com árvores de porte pequeno ou em fase de desenvolvimento. E ainda a lugares com vegetação própria para a alimentação do Gado.
120 - Mosaic Grassland/Forest – Shrubland	120 – Mosaico Pastagem / Floresta e vegetação arbustiva	Refere-se a paisagem de vegetação nativa ou plantações de alimentação própria ao gado que ocupam grandes espaços, associando-se a um conjunto de árvores de pequeno porte os mesmos em fase de crescimento se assim considerarmos.
130 - Closed to open shrubland	130 – Vegetação Arbustiva Densa e Aberta	Refere-se àquela vegetação com árvores de porte pequeno ou em fase de desenvolvimento mas que no entanto apresentam-se densas em determinados lugares e mais espalhadas em outros lugares.

**140 - Closed to
open grassland**

140 – Vegetação
Herbáceo-arbustiva
Densa e Aberta

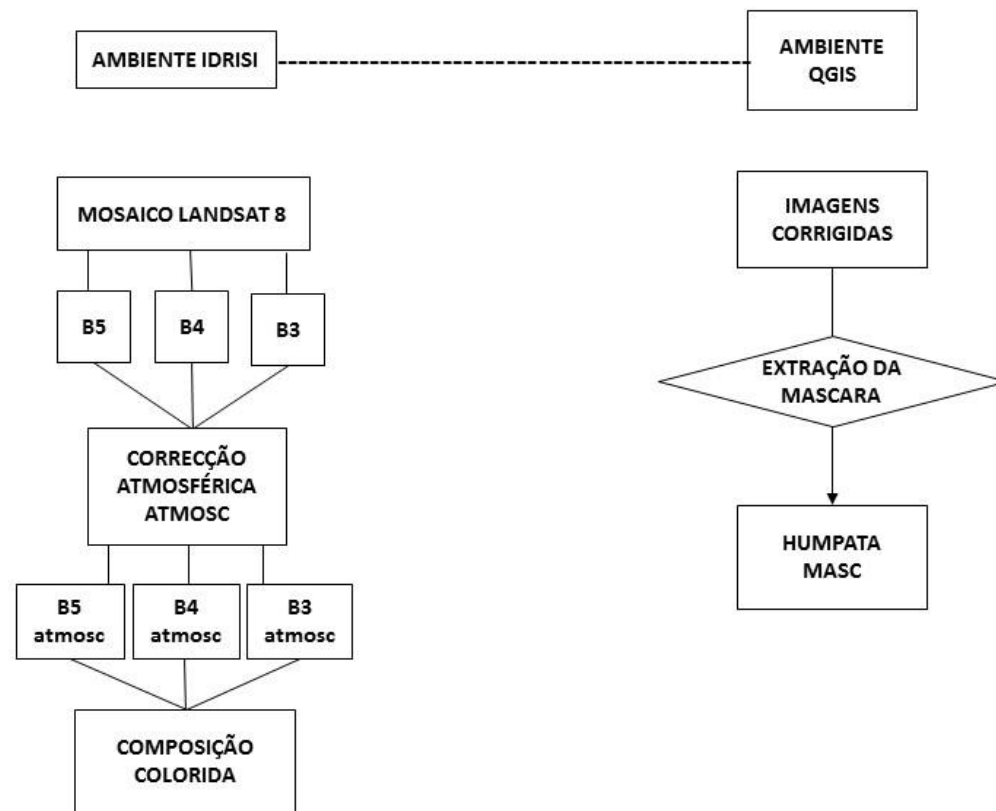
Referindo-se a vegetação em que predominam plantas com crescimento curto com caules macios, estando associadas a arbustos com um porte reduzido, mas que no entanto em determinadas zonas apresentam-se bastantes densos e noutros espalhados.

**143 - Open
grassland**

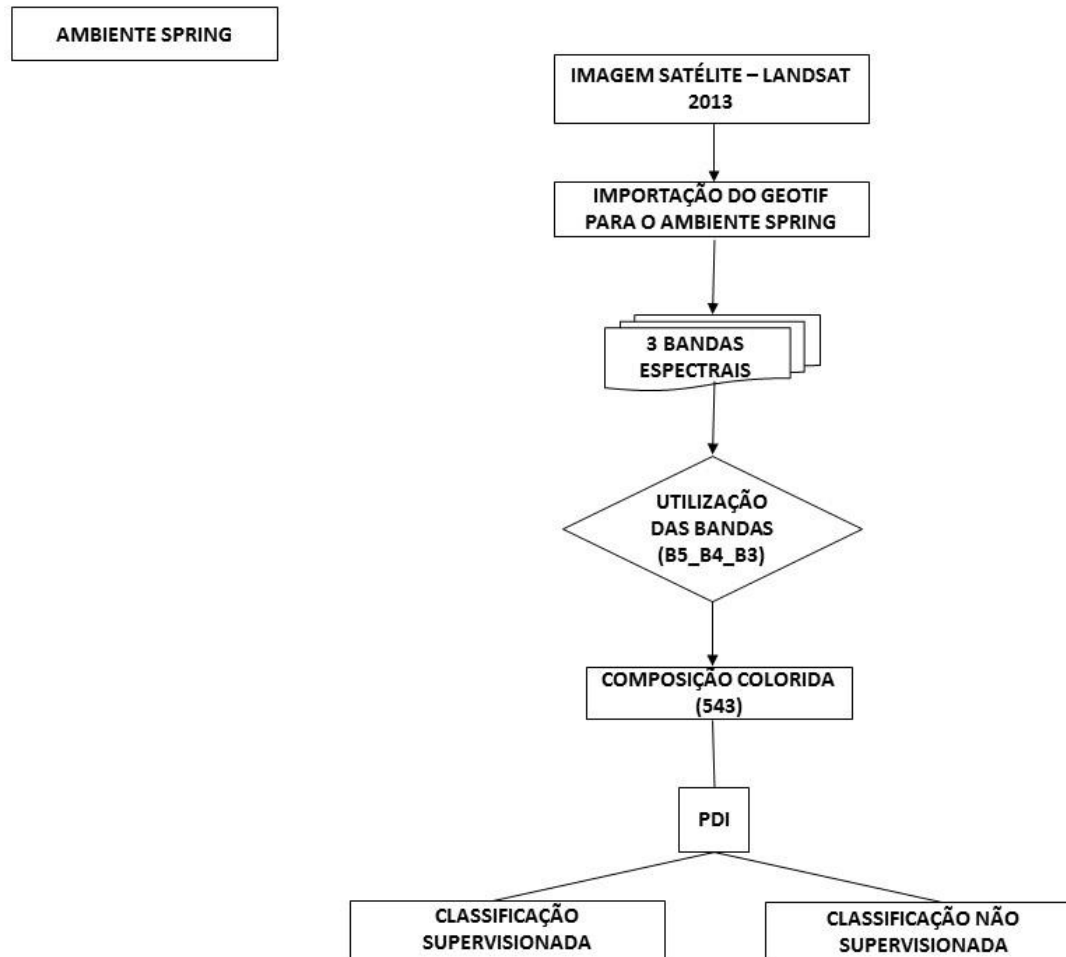
143 – Campo de
Pasto Aberto

Referindo-se a lugares com vegetação própria para a alimentação do Gado, ou seja, terras com tipos herbáceas de cobertura. Arbóreas arbustivas em que a cobertura é inferior a 10 %.

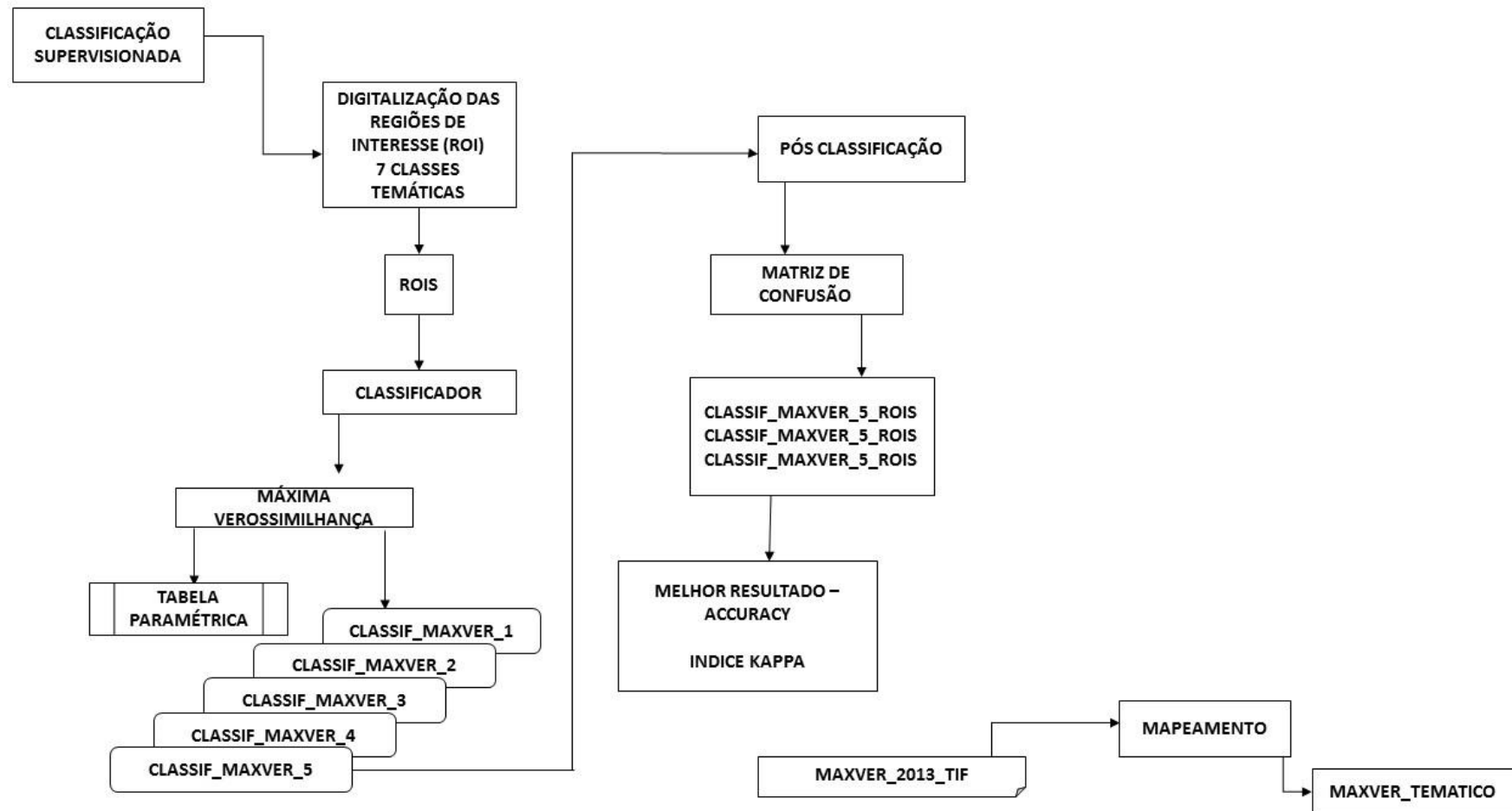
ANEXO 3: CORRECÇÃO ATMOSFÉRICA/CORTE PELOS LIMITES DO MUNICÍPIO.



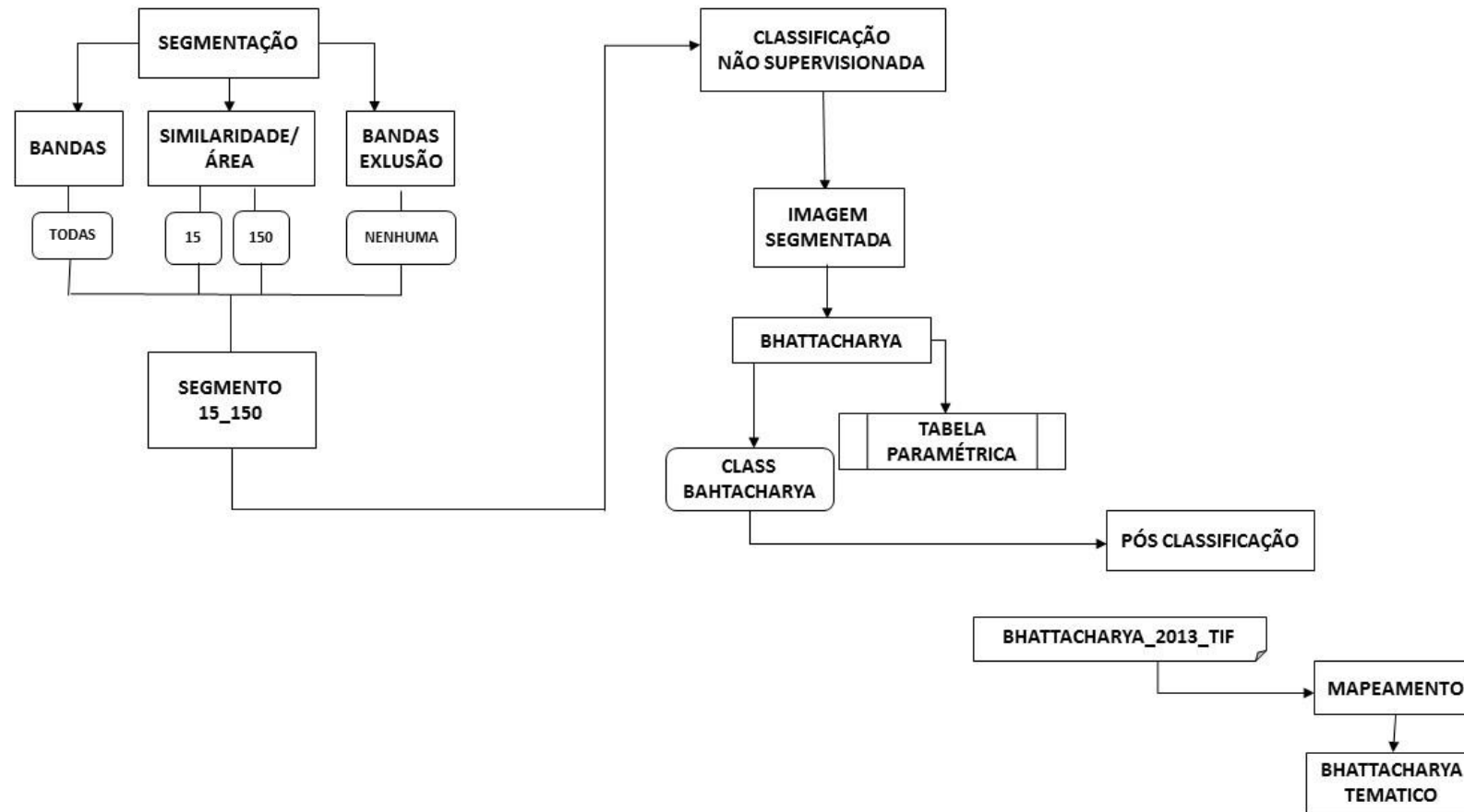
ANEXO 4: PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGEM.



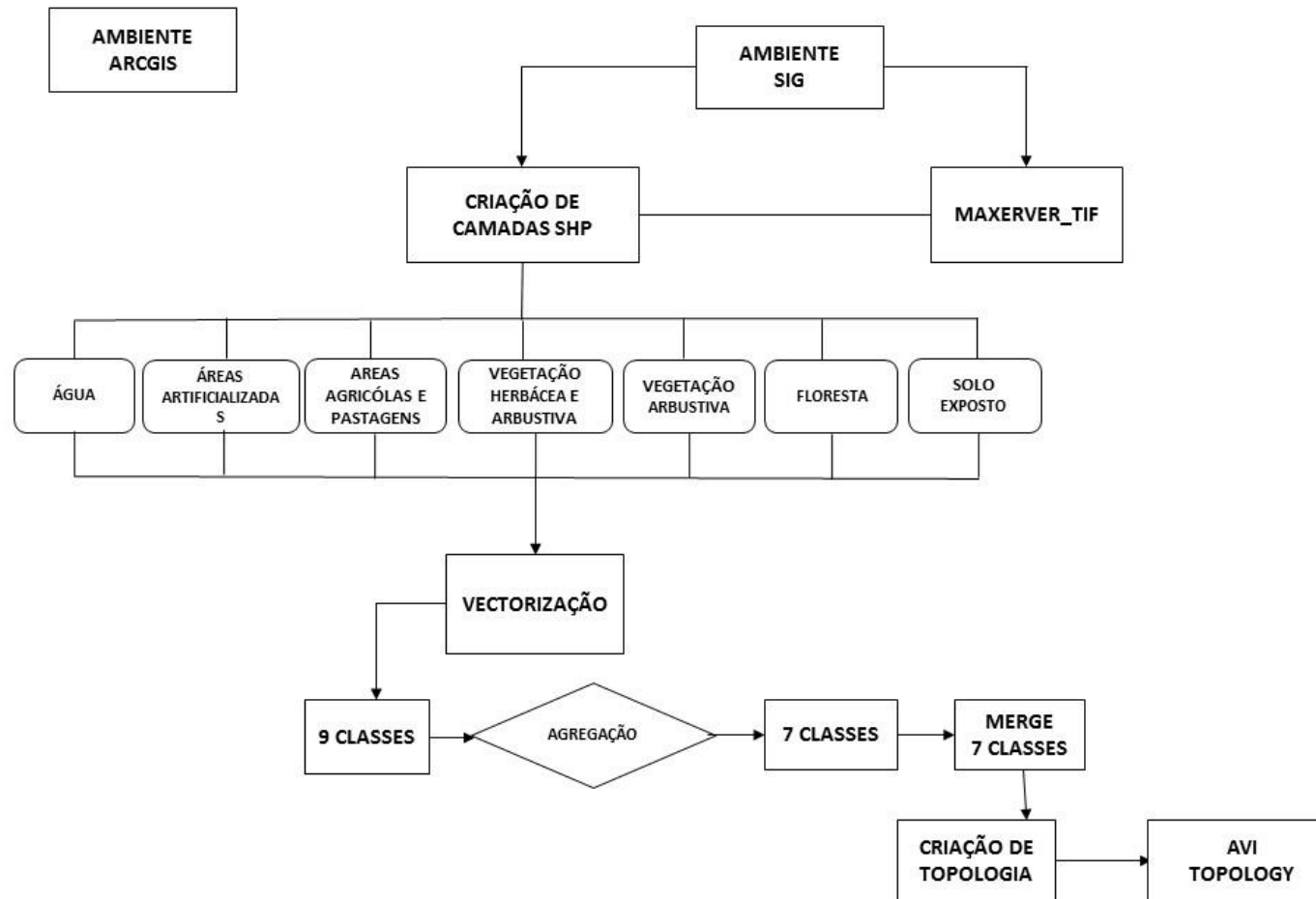
ANEXO 5: CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA.



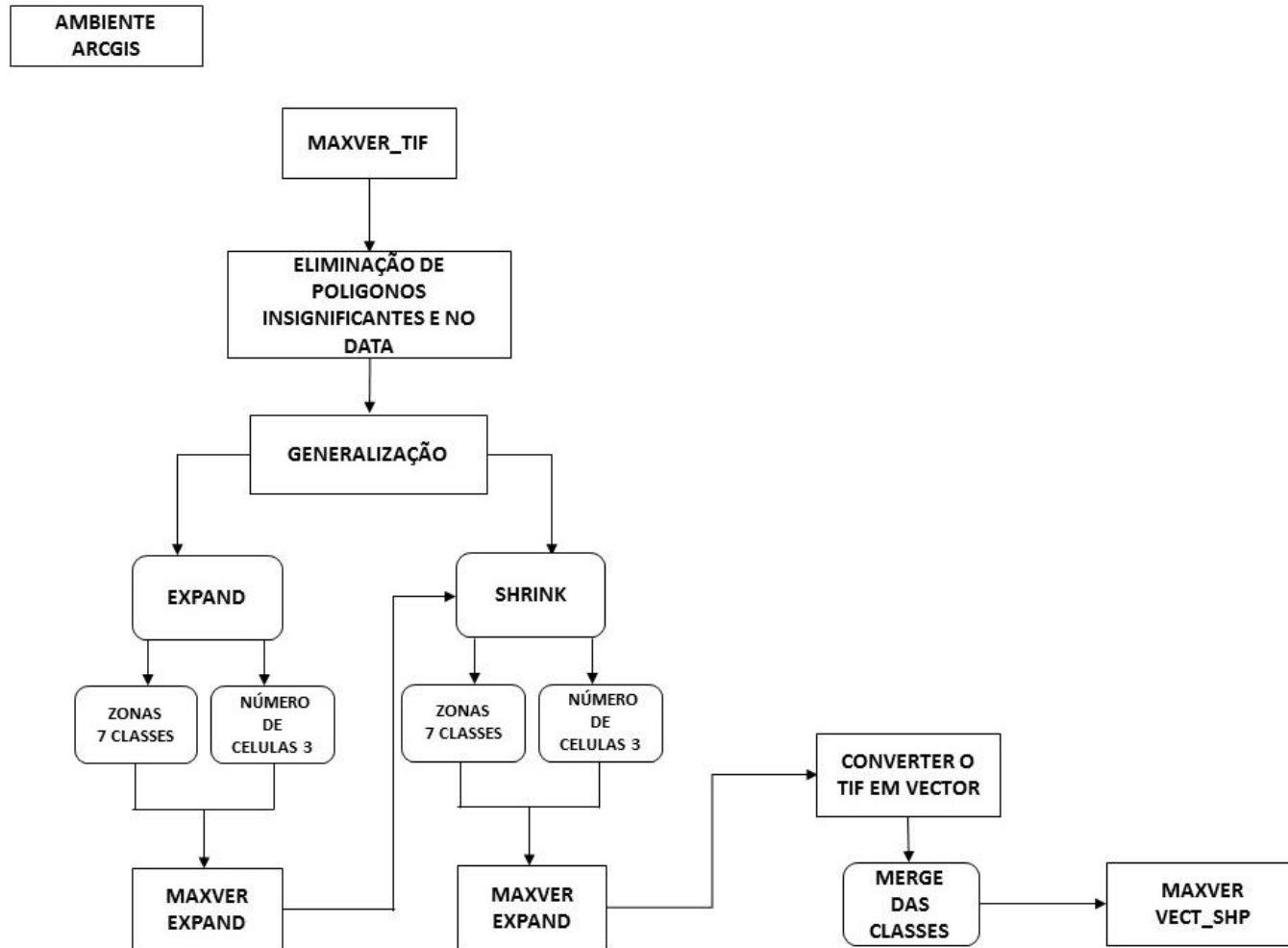
ANEXO 6: CLASSIFICAÇÃO NÃO SUPERVISIONADA.



ANEXO 7: ANÁLISE VISUAL DE IMAGEM.



ANEXO 8: SÍNTESE DAS ETAPAS OPERACIONAIS EM AMBIENTE SIG.



ANEXO 9: MATRIZ DE ERRO E CONFUSÃO (Resultante do cálculo estatístico das amostras de treinamento).

	Ag	Art	AP	VHA	VA	F	SE	Soma das linhas
Água	92	0	0	0	0	0	0	92
Artificializado	0	0	0	0	0	0	0	0
Áreas agrícolas e pastagens	0	0	28	2	6	0	0	36
Coberto herbáceo e arbustivo	0	0	6	28	0	0	0	34
Vegetação arbustiva	0	0	8	2	126	0	0	136
Floresta	0	0	2	5	3	149	0	159
Solo exposto	0	0	0	0	0	0	7	7
Somatório das colunas	92	0	44	37	135	149	7	
Somatório da diagonal	430							
Número de amostras	464							
Somatório do produto da soma entre colunas e linhas	53406							
Kappa	0,902551							
Kappa em %	90,26							

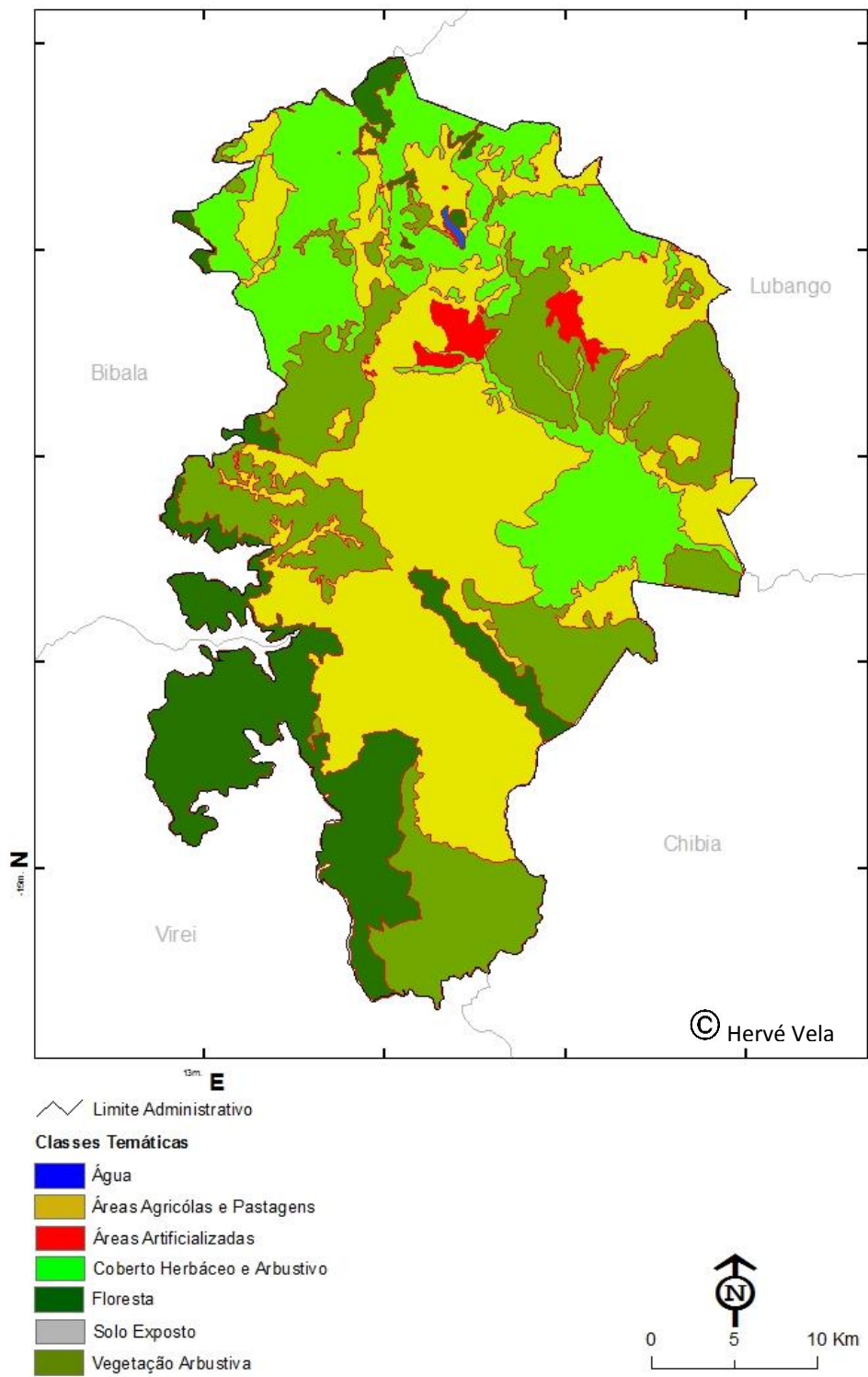
ANEXO 10: EXACTIDÃO DO PRODUTOR E UTILIZADOR (Resultante do cálculo Estatístico das Amostras de Treinamento)

Classes Temáticas	Exactidão do Produtor %	Exactidão do Utilizador %
Água	100.00 %	100.00 %
Artificializado	-1.41 %	-1.41 %
Áreas agrícolas e pastagens	63.64 %	77.78 %
Coberto herbáceo e arbustivo	75.68 %	82.35 %
Vegetação arbustiva	93.33 %	92.65 %
Floresta	100.00 %	93.71 %
Solo exposto	100.00 %	100.00 %

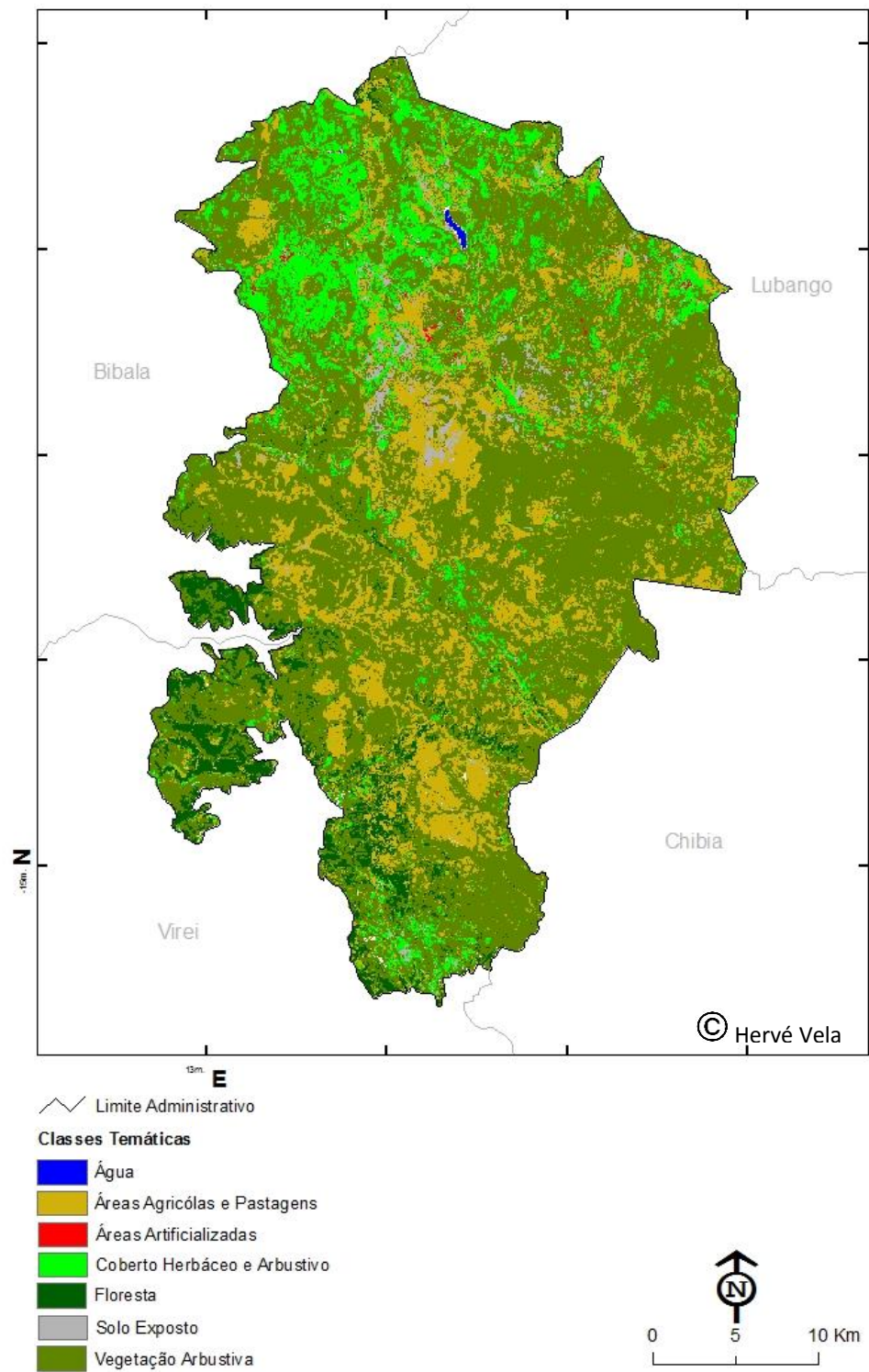
ANEXO 11: EXACTIDÃO RESUMO

Desempenho Geral	92.67 %
Confusão Média	7.33 %
Abstenção Média	0.00 %
Estatística KHAT	90.26 %
Variância KHAT	2.521e – 004
Estatística TAU	91.45 %

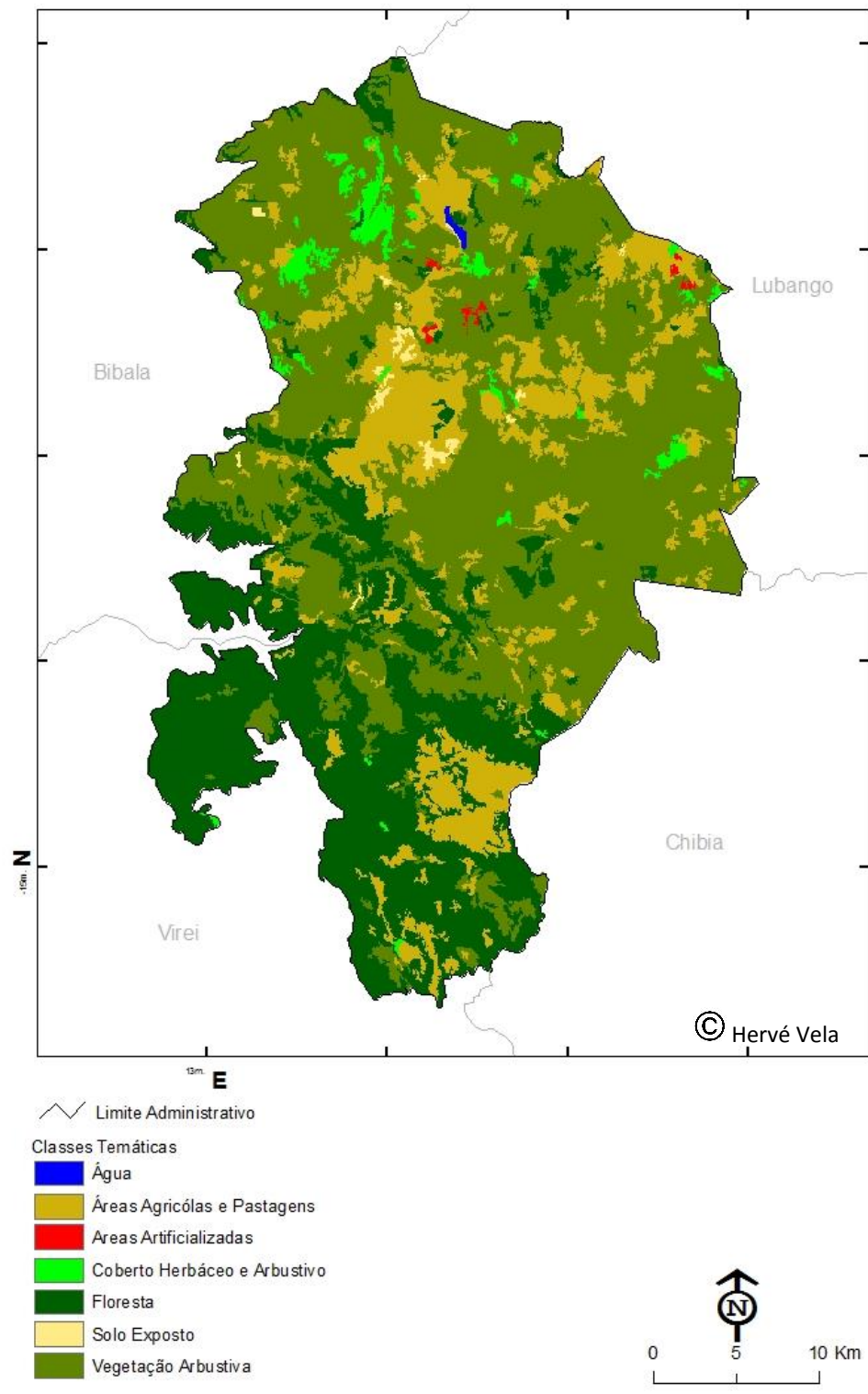
ANEXO 12: CLASSIFICAÇÃO MANUAL (AVI).



ANEXO 13: CLASSIFICAÇÃO AUTOMÁTICA (MAXVER).



ANEXO 14: CLASSIFICAÇÃO POR REGIÕES (BATTHACHARYA).



ANEXO 15: CARTOGRAFIA DE OCUPAÇÃO DO SOLO.

